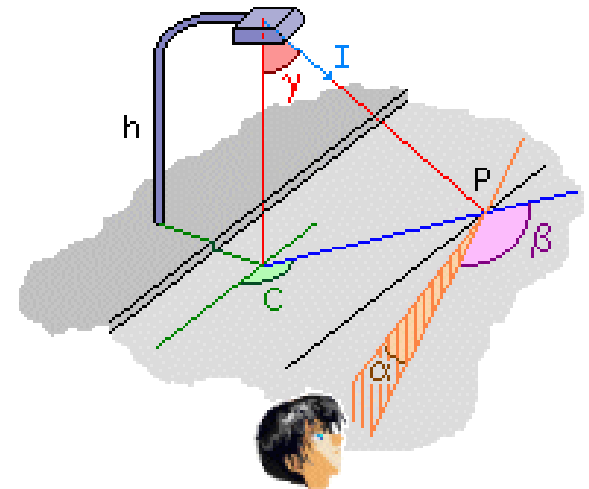
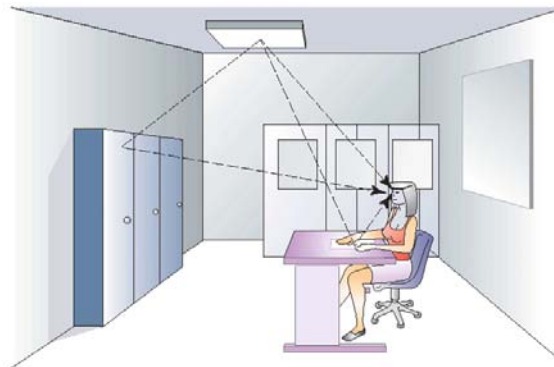
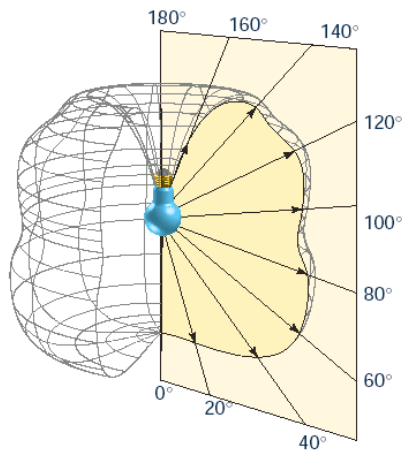


Luminotecnia

... o el control de la iluminación y el color en el trabajo



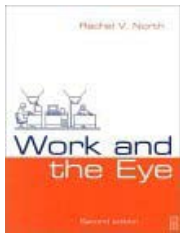
Sumario

- **Preámbulo**
 - Repaso de Fotometría
- **Producción de luz: tipos de lámparas**
- **Luminarias**
- **Diseño de iluminación**
 - Alumbrado de interiores
 - Deslumbramiento
 - Alumbrado de exteriores

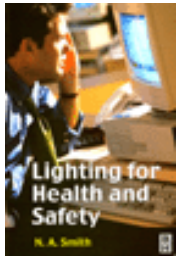
Bibliografía básica (I)



- NORTH, R.V.: *Trabajo y Ojo*. Barcelona: Masson, 1996.



- NORTH, R.V.: *Work and the Eye*, 2nd ed., Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.



- SMITH, N.A.: *Lighting for Health and Safety*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.



- LILLO JOVER, J.: *Ergonomía. Evaluación y diseño del entorno visual*. Madrid: Alianza Editorial, Psicología y Educación, 2000.

Bibliografía básica (II)



- **BOYCE, P.R.:** *Human factors in lighting*, 2nd ed., London: Taylor & Francis, 2003.



- **GARCÍA-GAITE, G.:** *Iluminación y seguridad laboral*. Madrid: Fundación Mapfre, 2003.
- **SMITH, N.A.:** *Lighting for occupational optometry*. Leeds: H&H Scientific Consultants, 1999.



- **CIE - Comisión Internacional de Iluminación y Color:**
<http://www.cie.co.at> , Divisiones 2, 3 y 5.
- **INDAL: Luminotecnia,** http://www.indal.es/portal2/cm/indalux/tkContent?idContent=7226&locale=es_ES

Bibliografía complementaria (I)



- **SIMONS, R.H. & BEAN, A.R.:** *Lighting engineering: applied calculations*. Oxford: Architectural Press, 2001.
- **GARCÍA-FERNÁNDEZ, J.; BOIX, O.:** *Luminotecnia: iluminación de interiores y exteriores*:
<http://edison.upc.es/curs/llum/indice0.html>.



- **GORDON, G.:** *Interior lighting for designers*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.



- **CUTTLE, C.:** *Lighting by design*. Oxford: Architectural Press, 2003.
- **WHITEHEAD, R.:** *Commercial lighting: creating dynamic public space*. London: Rockport, 1995.

Bibliografía complementaria (II)

- Comité Español de Iluminación: <http://www.ceisp.com/> .



- Journal of Light & Visual Environment: <http://www.ieij.or.jp/english/publish/JLVE.html> .

- Light & Engineering: http://www.svetotekhnika.com/lightandengineering_founders.html .

- The Lighting Journal: <http://www.ile.org.uk/> .



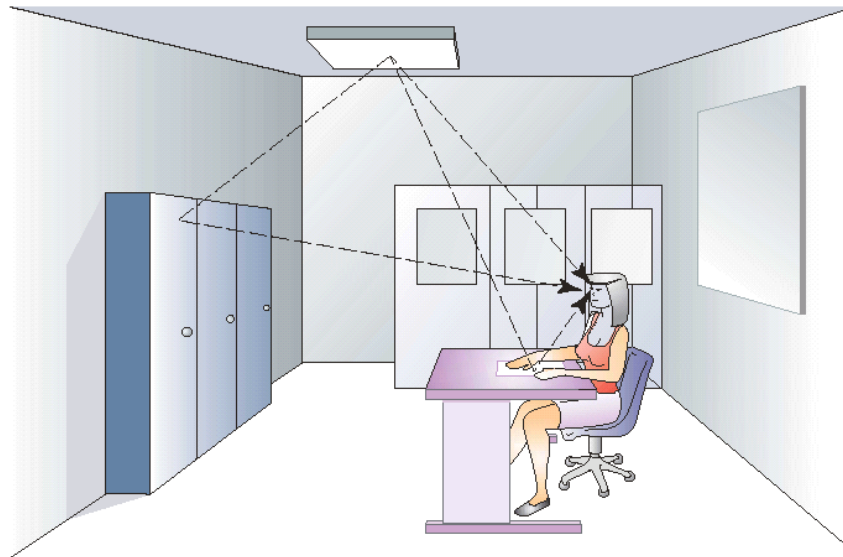
- Lighting Research & Technology: <http://lrt.sagepub.com/> .



- La buena iluminación (ANFALUM): <http://www.anfalum.com/publicaciones.asp> .

Preámbulo (I)

- **Ojo: receptor del ambiente iluminado**
 - ¿Qué objeto/tarea se pretende iluminar?
 - ¿Qué fuente luminosa se utilizará?
 - ¿Cómo se iluminará el objeto o la tarea?



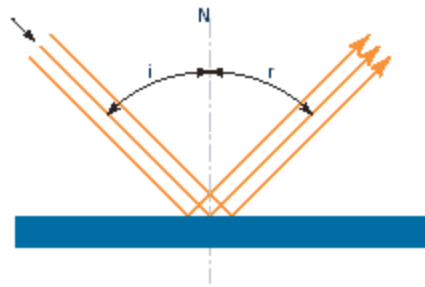
Preámbulo (II)

- **Propiedades ópticas básicas de la materia:**
 - Reflexión (ρ)
 - Refracción \rightarrow Transmisión (τ)
 - Absorción (α)
- **En objetos opacos: $\rho + \alpha = 1, \forall \lambda$**
- **En objetos traslúcidos: $\rho + \alpha + \tau = 1, \forall \lambda$**
- **El color de los objetos se debe a una absorción selectiva de la luz visible**

Preámbulo (III)

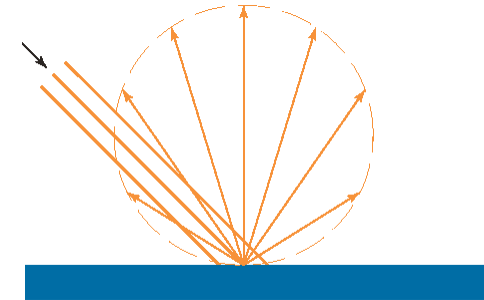
- Tipos de reflexión:

regular



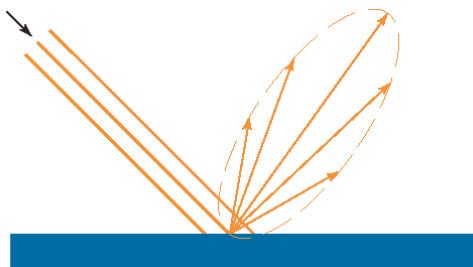
Superficies lisas

difusa



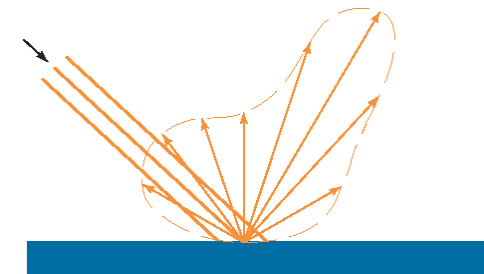
papel blanco mate, yeso

compuesta



Superficies rugosas

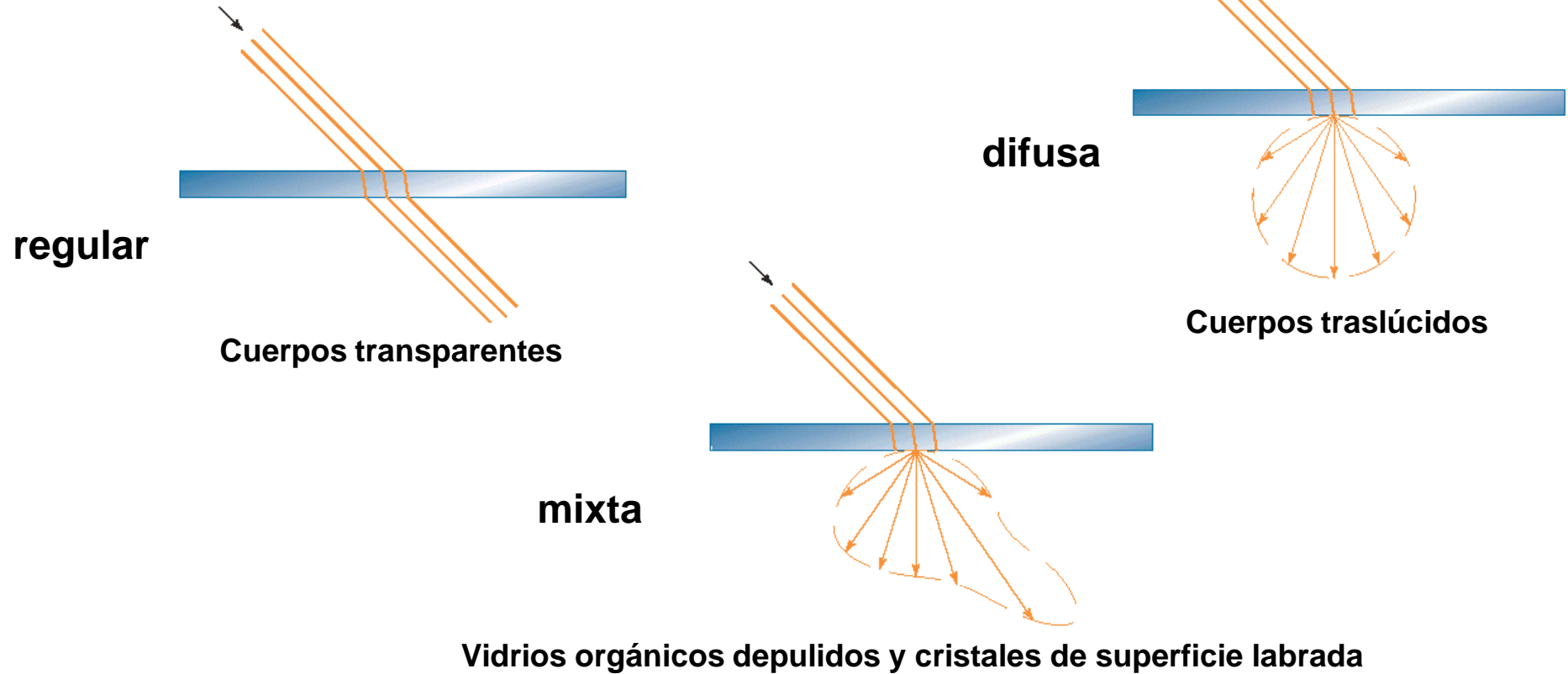
mixta



Metales no pulidos, papel brillante, barnizados

Preámbulo (IV)

- Tipos de transmisión:



Repaso de Fotometría (I)

- **Magnitudes y unidades de medida (I)**

- **Flujo luminoso (F), en lm**

- **Parámetro global (espacial)**
 - **Esfera integradora (de Ulbricht)**
 - **Eficacia luminosa:**

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

- **Cantidad de luz ($Q = F \cdot t$), en lm·h**



Repaso de Fotometría (II)

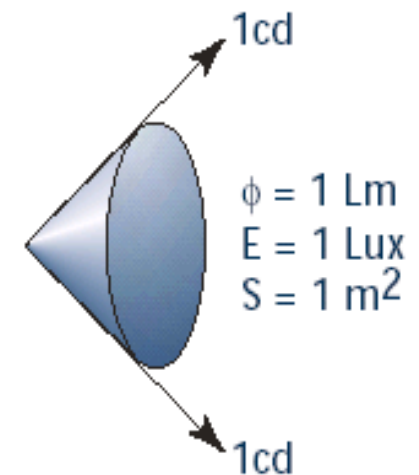
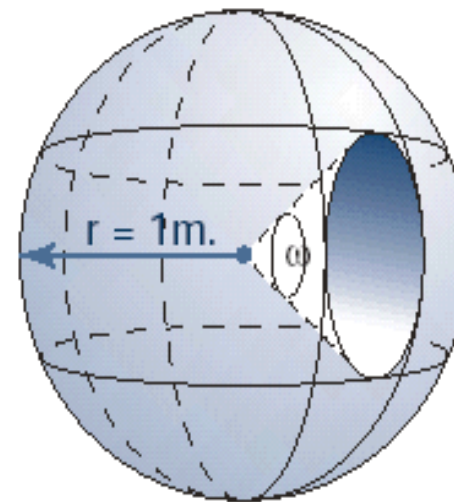
- **Magnitudes y unidades de medida (II)**

- **Intensidad luminosa (I), en cd**

- Fuentes puntuales
 - Parámetro direccional
 - Ángulo sólido (ω), en sr

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \left[\frac{\text{lm}}{\text{sr}} \right]$$

$$\omega = \frac{S}{r^2} [\text{sr}]$$



ω (total) = 4π estereorradianes

Repaso de Fotometría (III)

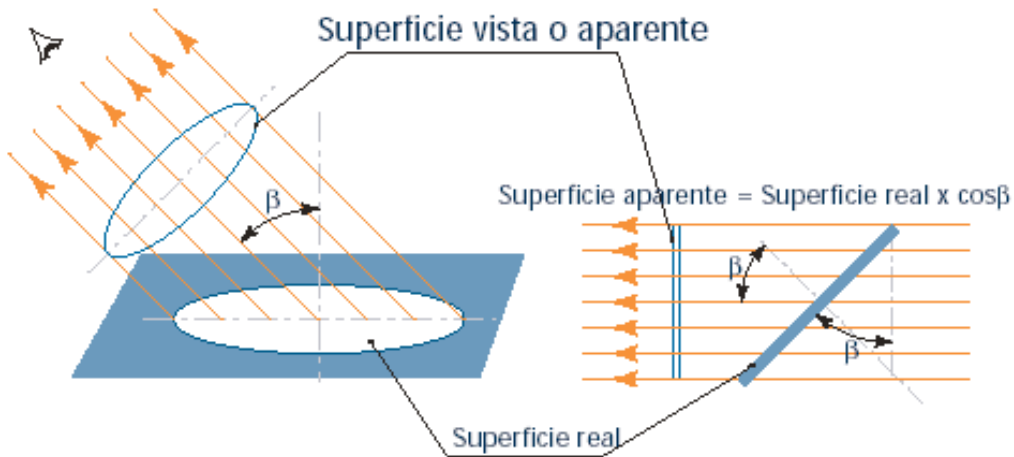
- **Magnitudes y unidades de medida (III)**
 - **iluminancia (nivel de iluminación) (E), en lx**
 - Superficie receptora
 - Luxómetro

$$E = \frac{\Phi}{S_{\text{receptora}}} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \equiv \text{lx} \right]$$



Repaso de Fotometría (IV)

- **Magnitudes y unidades de medida (IV)**
 - **Luminancia (L), en cd/m^2**
 - Superficie emisora: fuentes extensas
 - Parámetro direccional
 - Independiente de la distancia de observación
 - Luminancímetro



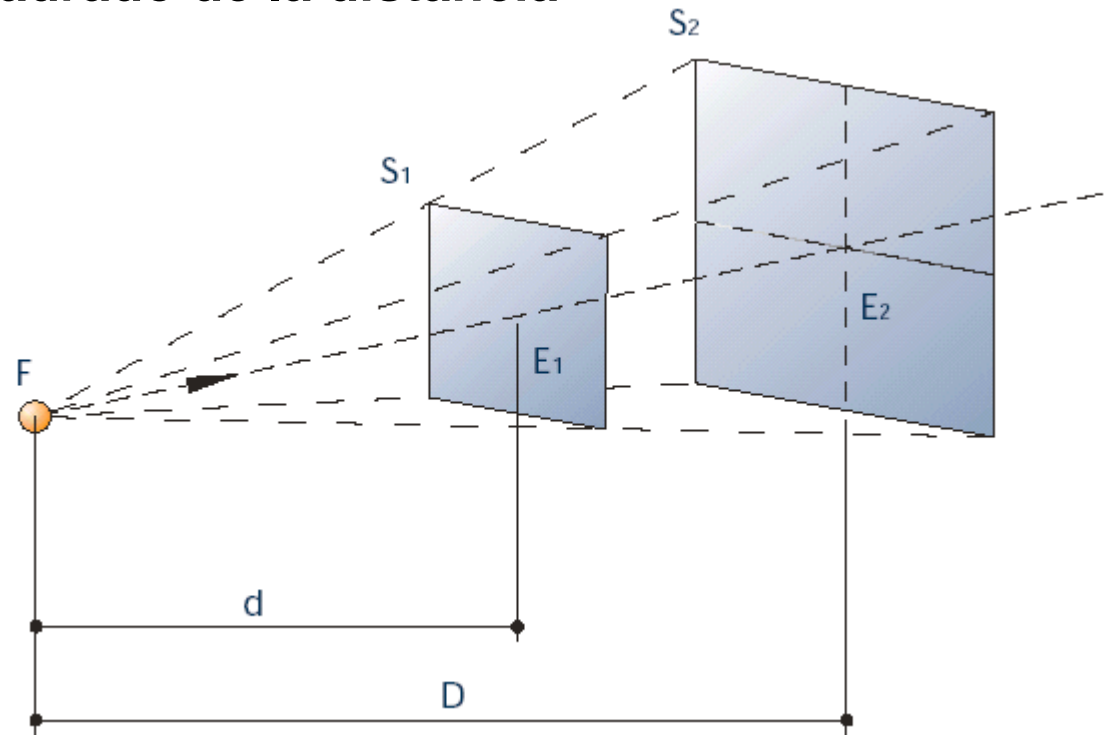
$$L = \frac{I}{S_{\text{emisora}} \cdot \cos \beta} \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right]$$

Repaso de Fotometría (V)

- **Leyes fundamentales (I)**
 - Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

$$E = \frac{I}{d^2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{D^2}{d^2}$$

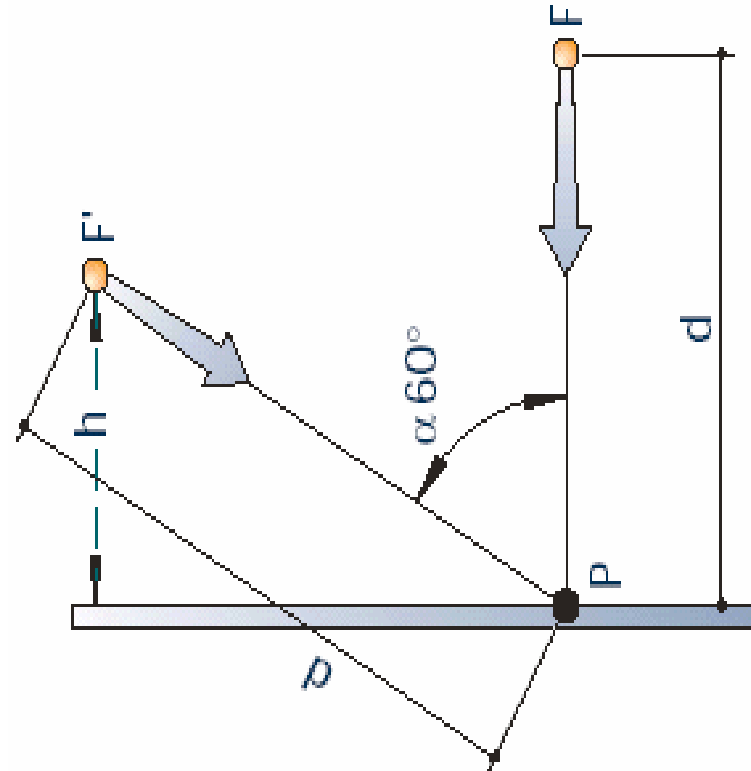


Repaso de Fotometría (VI)

- **Leyes fundamentales (II)**
 - Ley del coseno

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha$$

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha$$

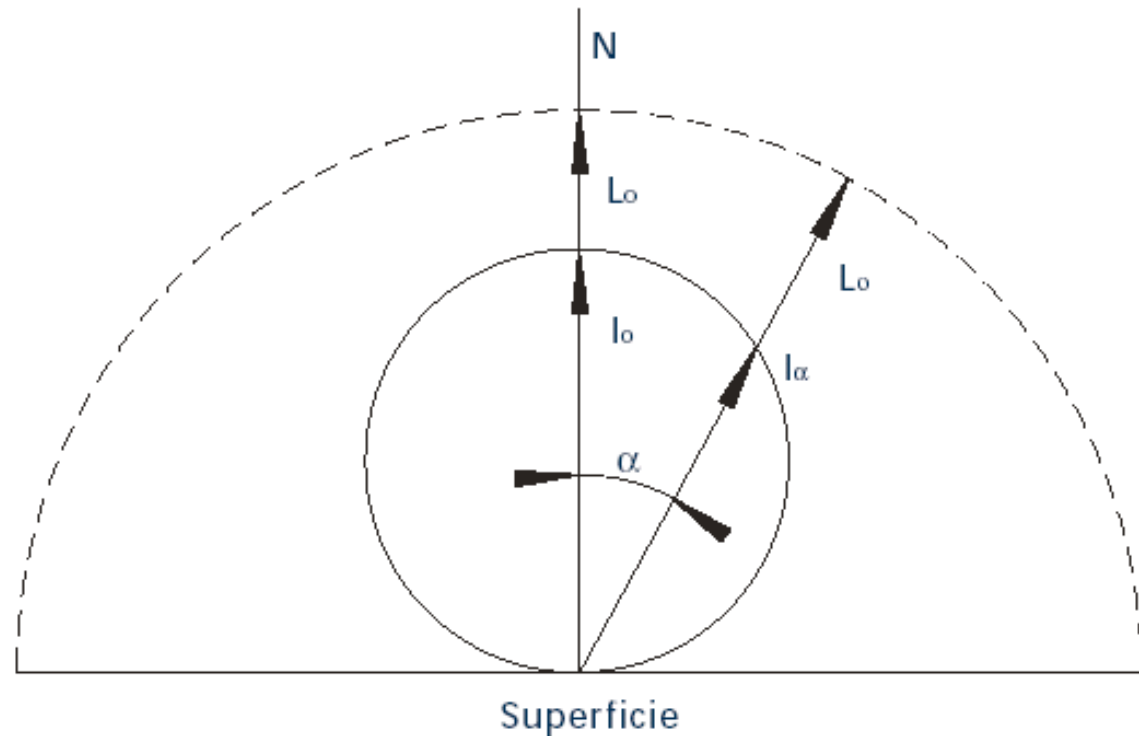


Repaso de Fotometría (VII)

- **Leyes fundamentales (III)**
 - Ley de Lambert, emisores o difusores perfectos

$$I_{\alpha} = I_0 \cos \alpha$$

$$L_{\alpha} = L_0$$



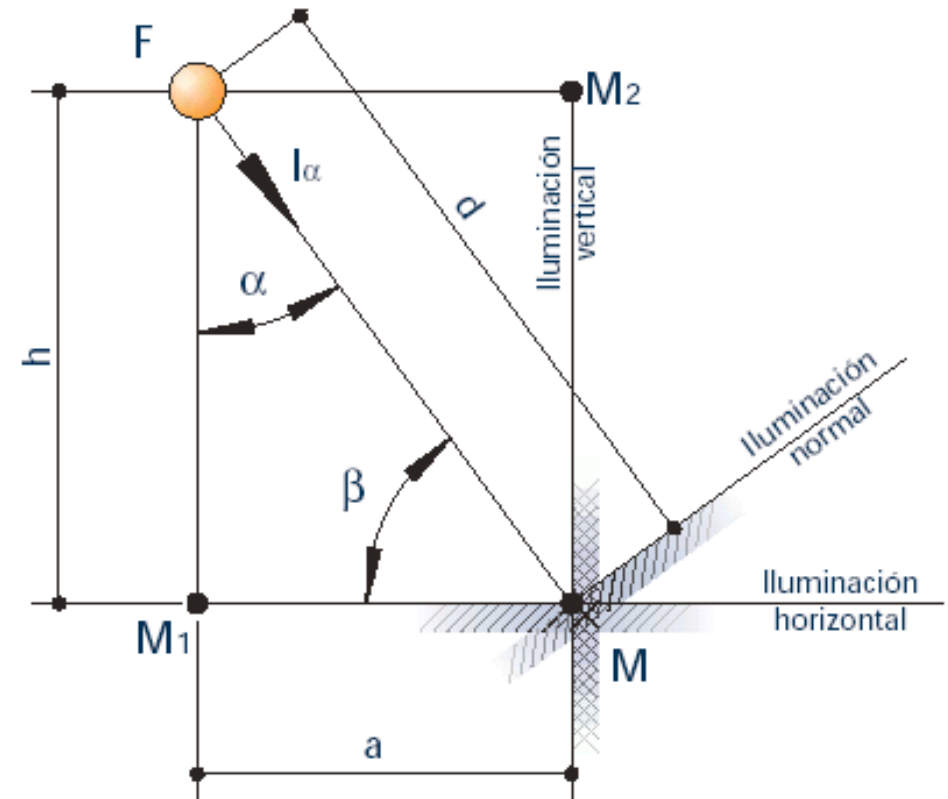
Repaso de Fotometría (VIII)

- Iluminación normal, horizontal, vertical

$$E_N = \frac{I_\alpha}{d^2}$$

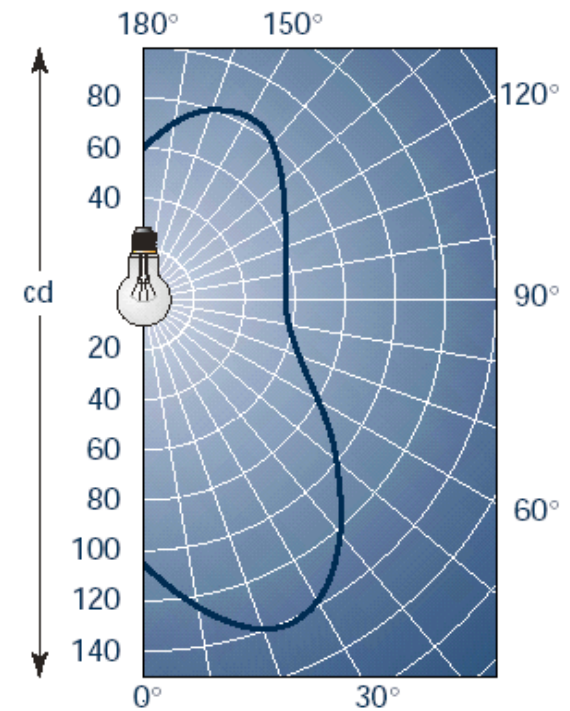
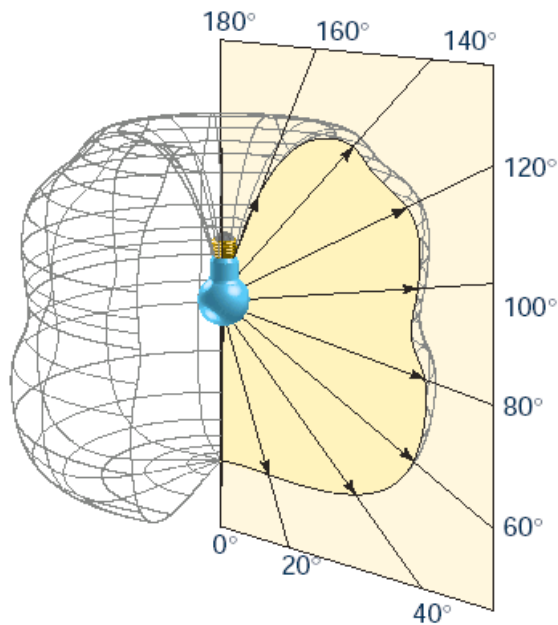
$$E_H = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3 \alpha$$

$$E_V = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha$$



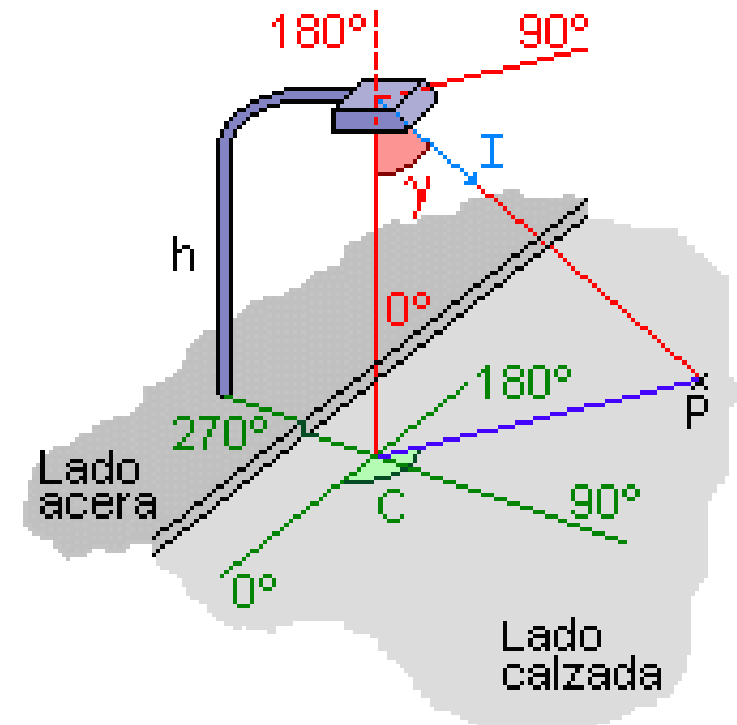
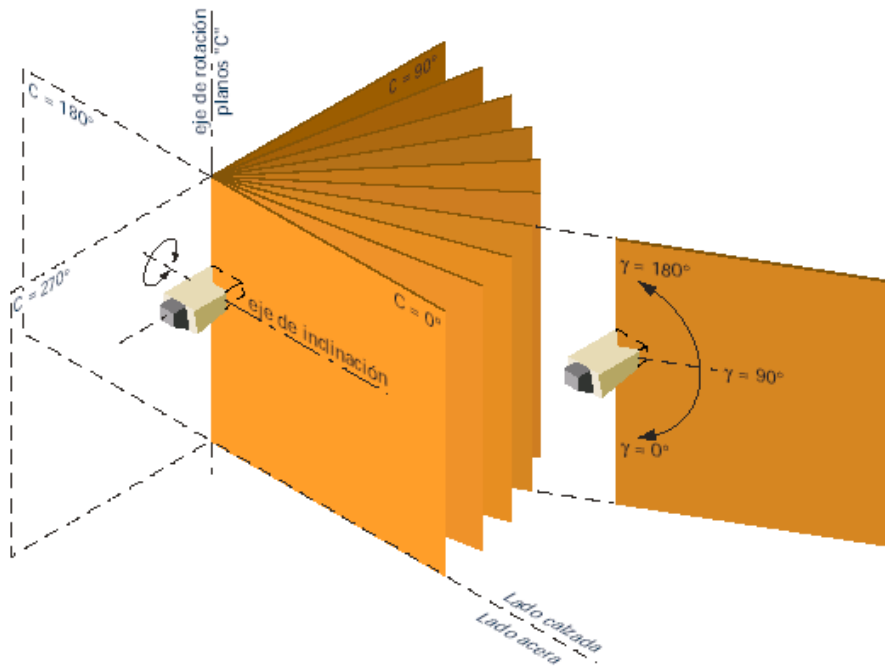
Repaso de Fotometría (X)

- Gráficos y diagramas típicos (I):
 - Sólido fotométrico a partir de un goniofotómetro
 - Curva polar (fotométrica)



Repaso de Fotometría (XI)

- Gráficos y diagramas típicos (II):
 - Sistemas de coordenadas para la curva polar
 - Sistemas A, B y C ($C-\gamma$)

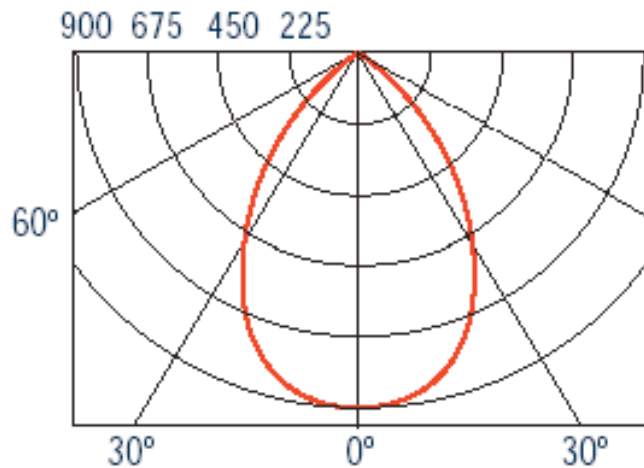


Repaso de Fotometría (XII)

- Gráficos y diagramas típicos (III):
 - Ejemplos de curvas polares

$$I_{real} = \Phi_{lámpara} \frac{I_{gráfica}}{1000}$$

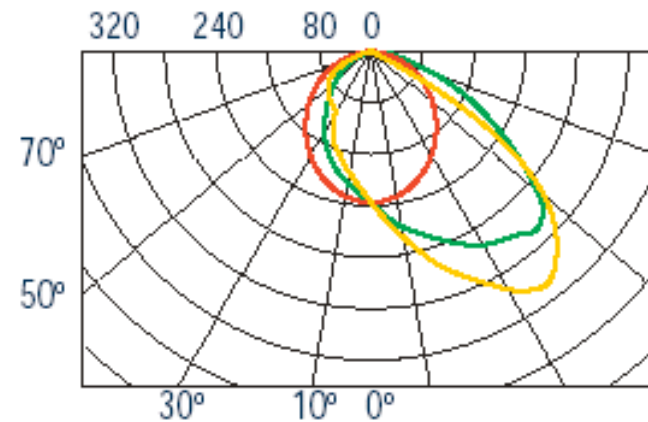
Simétrica



Unidad = cd/1000 lm

C=90° — C=45° — C=0° —

Asimétrica

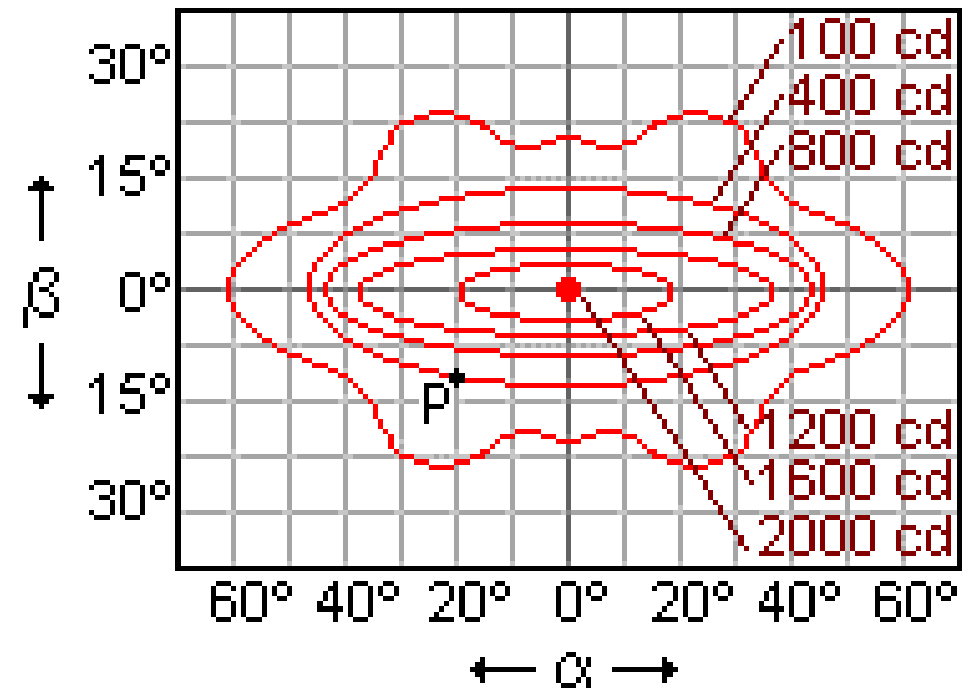
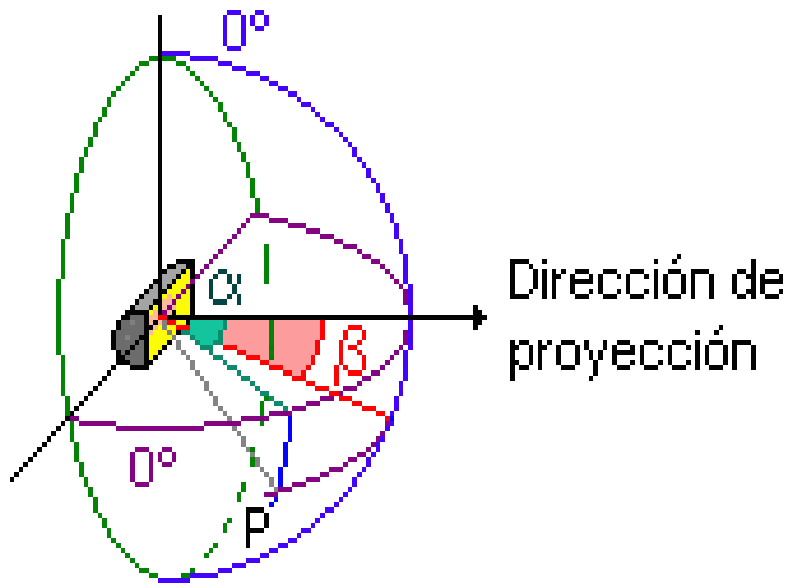


Unidad = cd/1000 lm

C=90° — C=45° — C=0° —

Repaso de Fotometría (XIII)

- Gráficos y diagramas típicos (IV):
 - Diagramas isocandela para proyectores

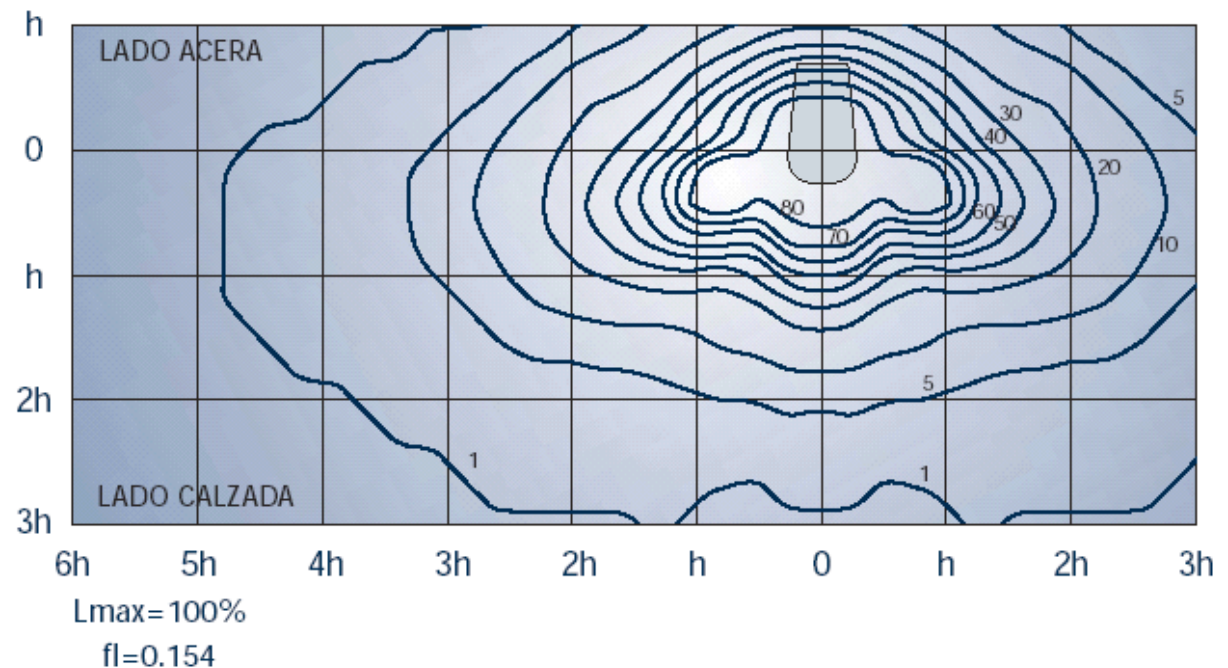


Repaso de Fotometría (XV)

- Gráficos y diagramas típicos (VI):
 - Diagramas isolux

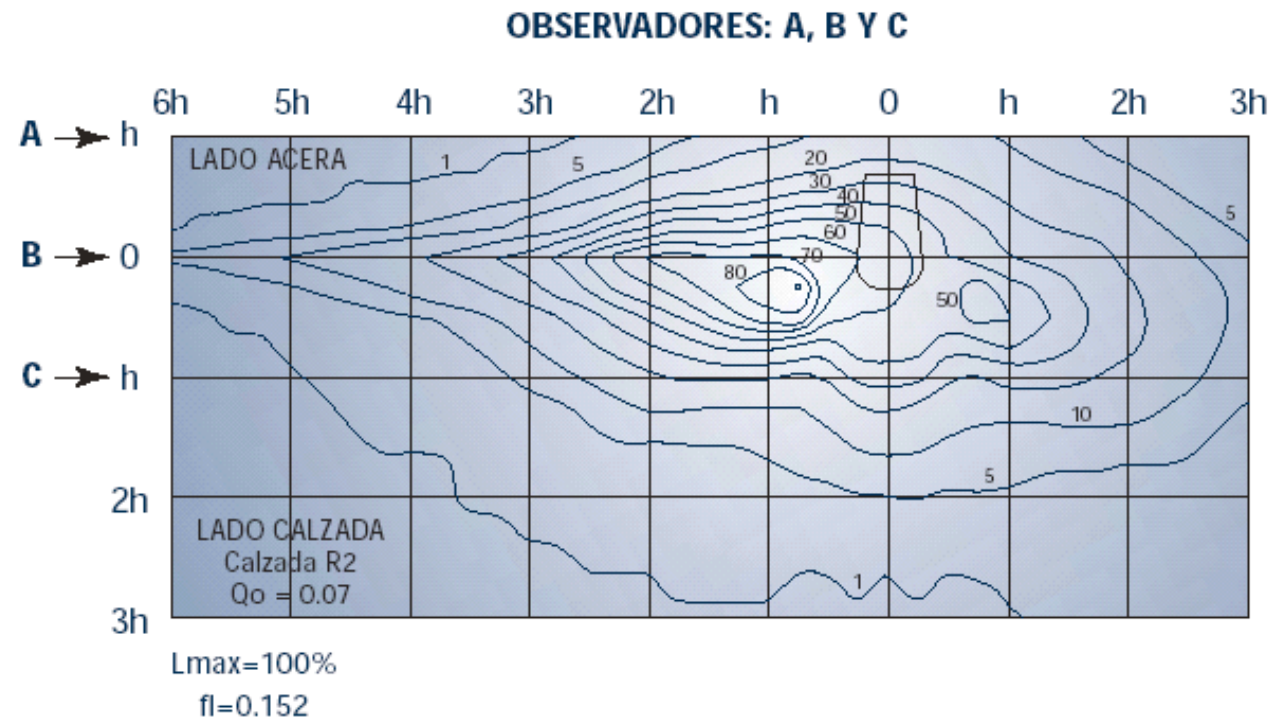
$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{h^2} \cos^3 \gamma$$

$$E_{H_{real}} = E_{gráfica} \frac{\Phi_{lámpara}}{1000} \frac{1}{h^2}$$



Repaso de Fotometría (XVI)

- Gráficos y diagramas típicos (VII):
 - Diagramas isoluminancia: según del observador



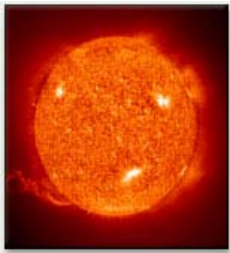
Producción de luz (I)

- **Incandescencia:**
 - Emisión de luz por aumento de la temperatura
- **Luminiscencia:**
 - Emisión de luz “fría”, diferente a la incandescencia
 - Tipos de luminiscencia:
 - Fotoluminiscencia: inducida por radiación electromagnética
 - Fluorescencia (instantánea) vs. Fosforescencia (persistente)
 - Radioluminiscencia o radioactividad
 - Electroluminiscencia: por acción de una corriente eléctrica
 - Cátodoluminiscencia: tubo de rayos catódicos (CRT → televisor)
 - Triboluminiscencia: por acción de un cambio de presión
 - Quimioluminiscencia: derivada de una reacción química
 - Bioluminiscencia
 - Sonoluminiscencia: por acción de ultrasonidos
 - Emisión láser (coherente)

Producción de luz (II)

- Ejemplos de incandescencia

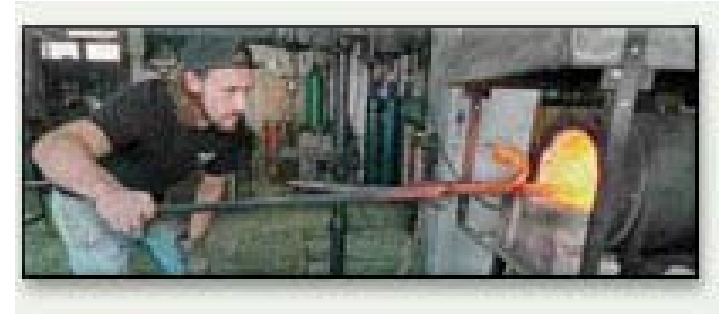
- Sol (natural) → Cuerpo negro



- Llama (artificial)



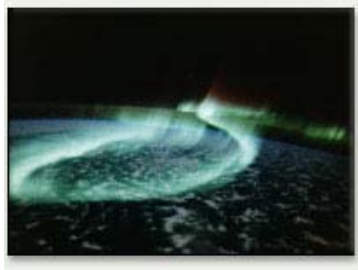
- Lámpara (artificial)



Producción de luz (III)

- Ejemplos de luminiscencia natural

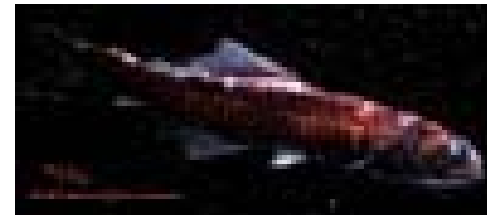
- Electroluminiscencia



- Fluorescencia y Fosforescencia



- Bioluminiscencia



Producción de luz (IV)

- **Tipos de lámparas artificiales**
 - **Incandescencia**
 - No halógenas
 - Halógenas
 - Bajo voltaje
 - Alto voltaje
 - **Descarga**
 - Vapor de mercurio (Hg)
 - Baja presión
 - Alta presión
 - Vapor de sodio (Na)
 - Baja presión
 - Alta presión
 - **¿Y las lámparas fluorescentes?**

Lámparas técnicas

Radiador térmico

Lámparas incandescentes



Lámparas halógenas incandescentes



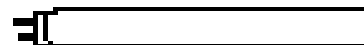
Lámparas halógenas de bajo voltaje



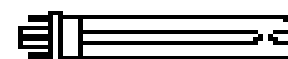
Lámparas de descarga

Lámparas de baja presión

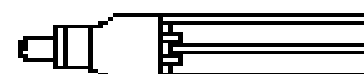
Lámparas fluorescentes



Lámparas fluorescentes compactas



Lámparas de vapor de sodio de baja presión

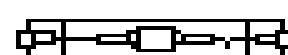


Lámparas de alta presión

Lámparas de vapor de mercurio



Lámparas de halogenuros metálicos

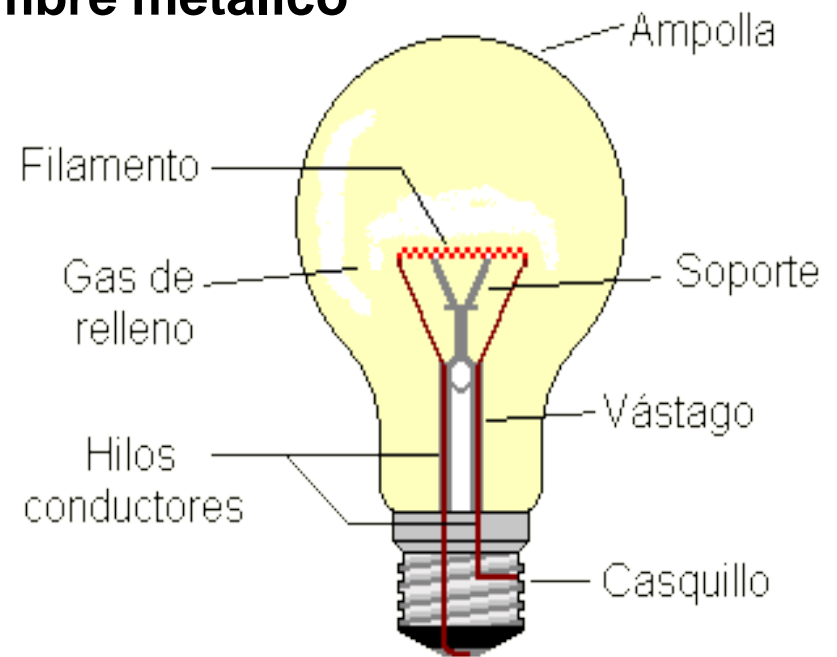


Lámparas de vapor de sodio de alta presión



Lámparas incandescentes (I)

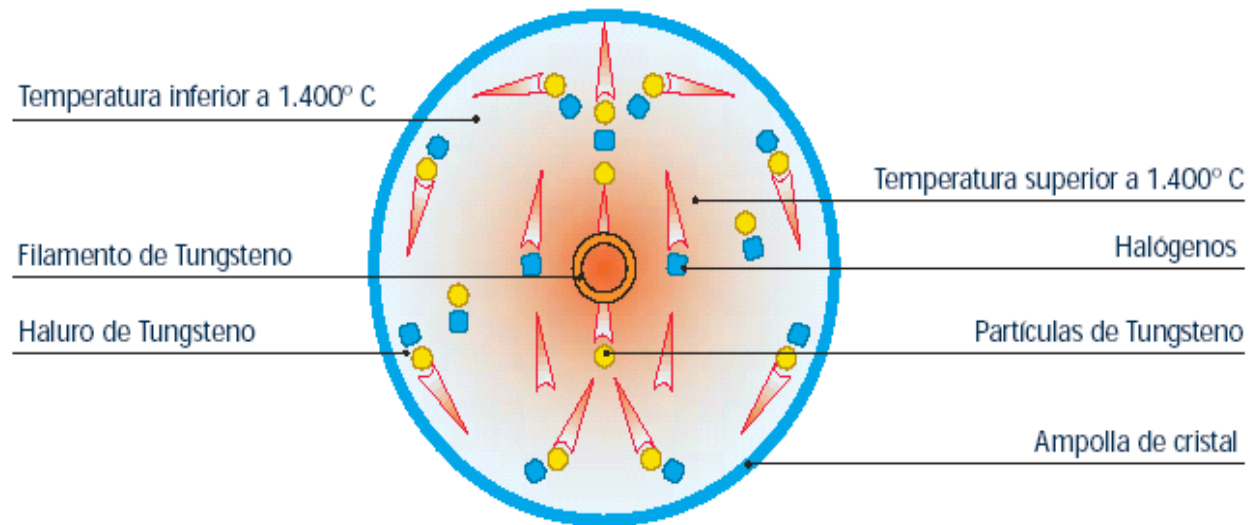
- **Principio de funcionamiento:**
 - Calentamiento eléctrico de un alambre metálico
- **Componentes principales:**
 - Filamento: W, enrollado
 - Ampolla: vidrio con Pb
 - Gas de relleno: Ar, N
- **Propiedades básicas:**
 - Baja eficacia luminosa
 - Conexión directa a la red
 - Duración y flujo luminoso según la tensión



Partes de una bombilla

Lámparas incandescentes (II)

- Lámparas halógenas:
 - El gas de relleno incorpora Br o Cl o Y
 - Regeneración del W evaporado



- Ampolla de vidrio de cuarzo especial: ¡NO TOCAR!

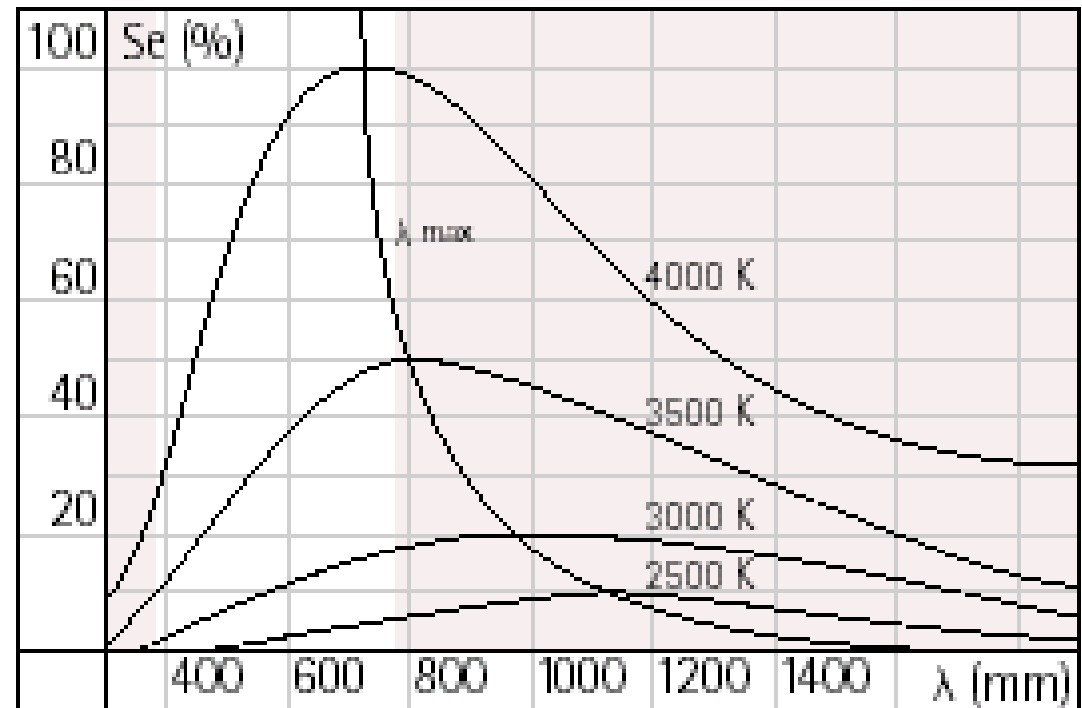
Lámparas incandescentes (III)

- Comparativa: Emisión espectral continua

	Clásica con vacío	Clásica sin vacío	Halógena
Temperatura filamento [°C]	2100	2500	2500
Eficacia luminosa [lm/W]	7.5 - 11	10 - 20	22
Duración media [h]	1000	1000	> 2000
Pérdidas de calor	Convección y radiación	Radiación	Radiación
Potencias disponibles [W]	25 - 2000	25 - 2000	150 - 2000

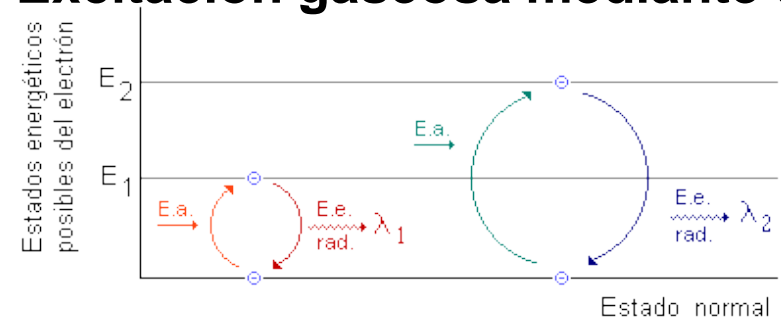
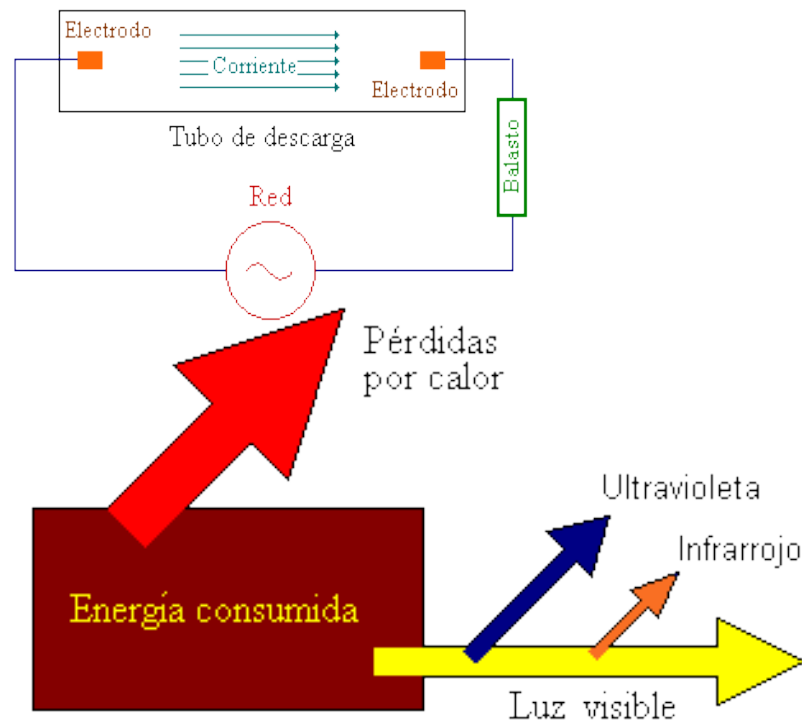
Lámparas incandescentes (IV)

- Comparativa por formas y tamaños



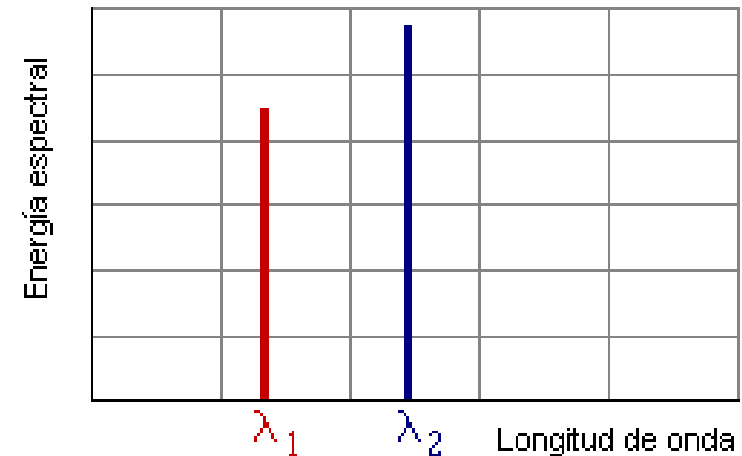
Lámparas de descarga

- Principio de funcionamiento: Excitación gaseosa mediante una descarga eléctrica**



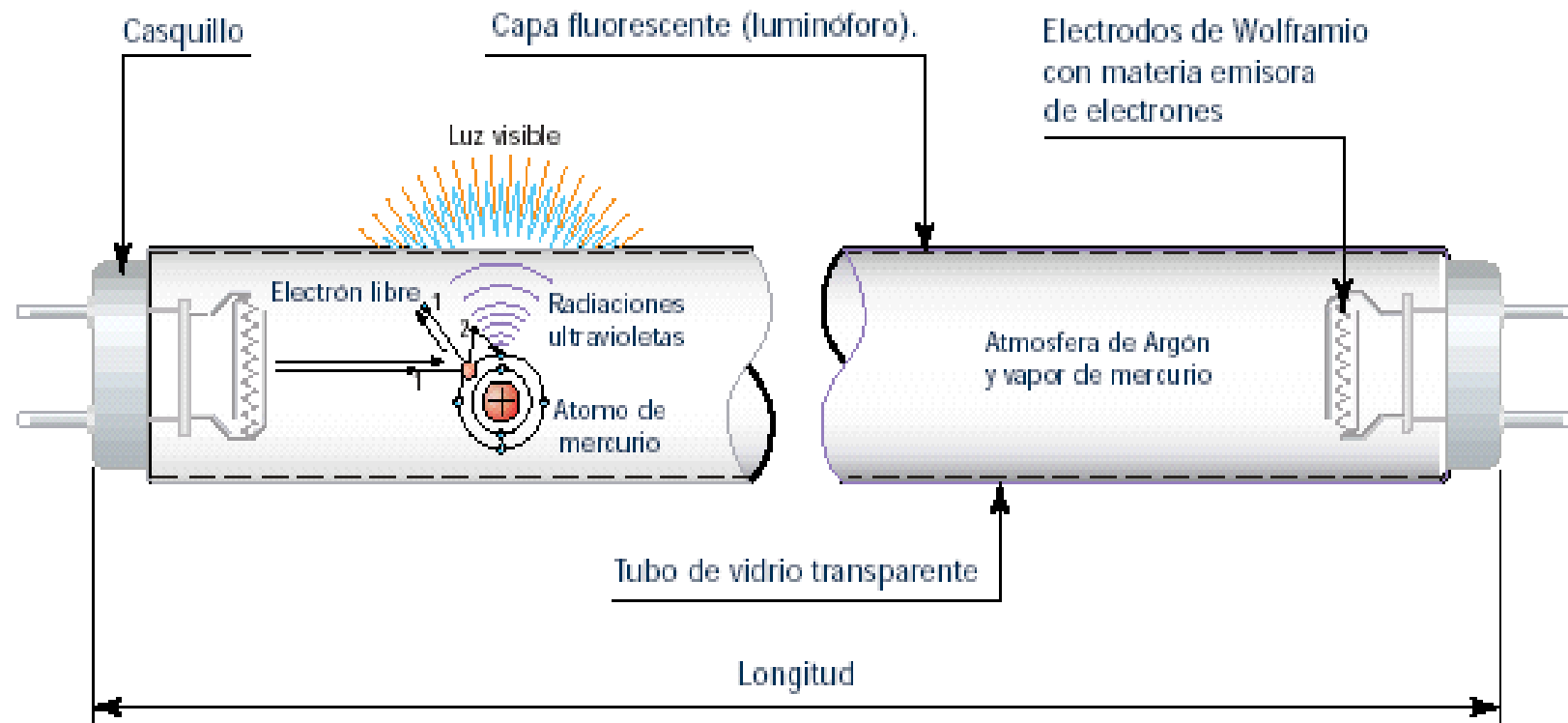
E.a. Energía absorbida

E.e. rad. Energía emitida por radiación



Lámparas de vapor Hg (I)

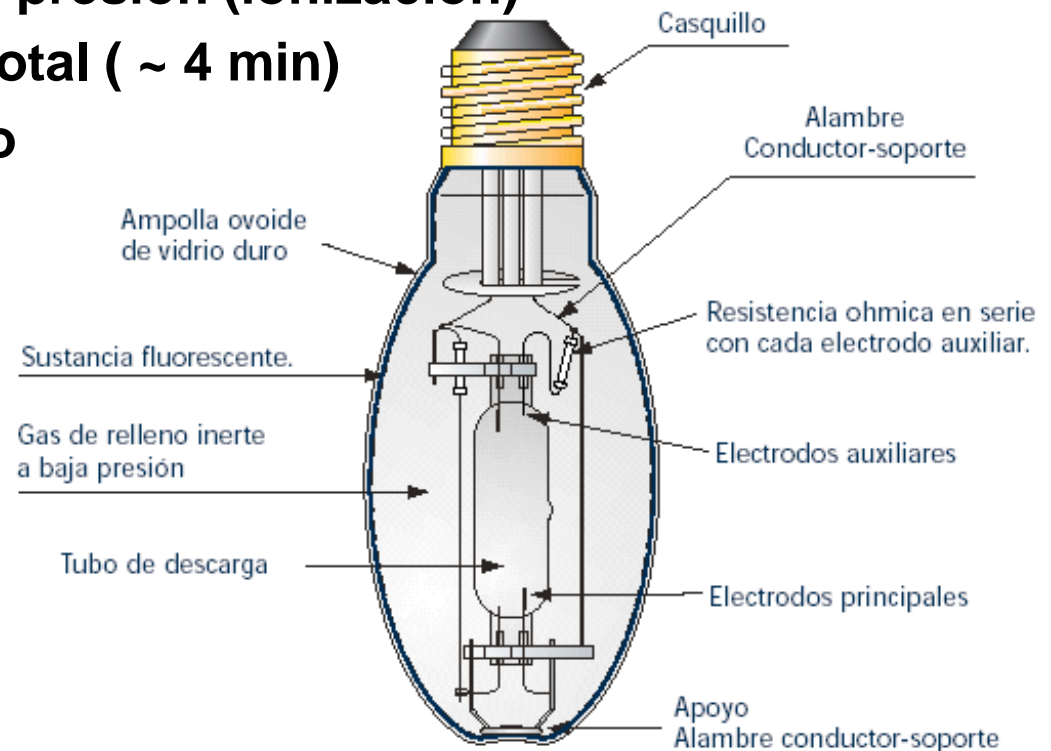
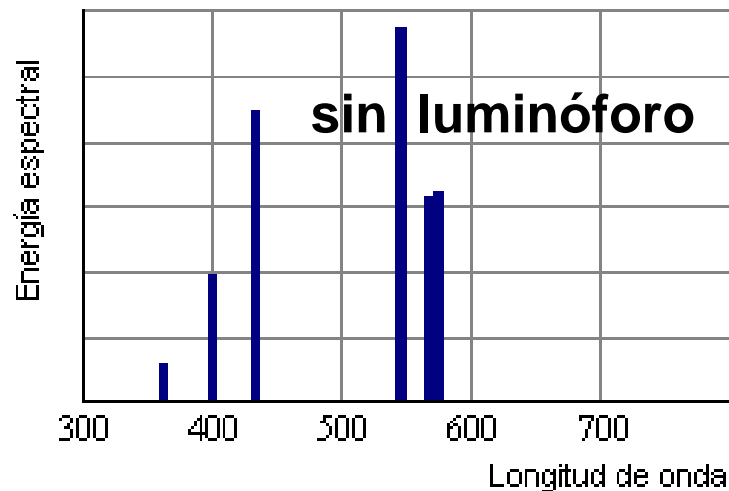
- Baja presión: lámparas fluorescentes



λ emisión sin luminóforo = 253.7 nm

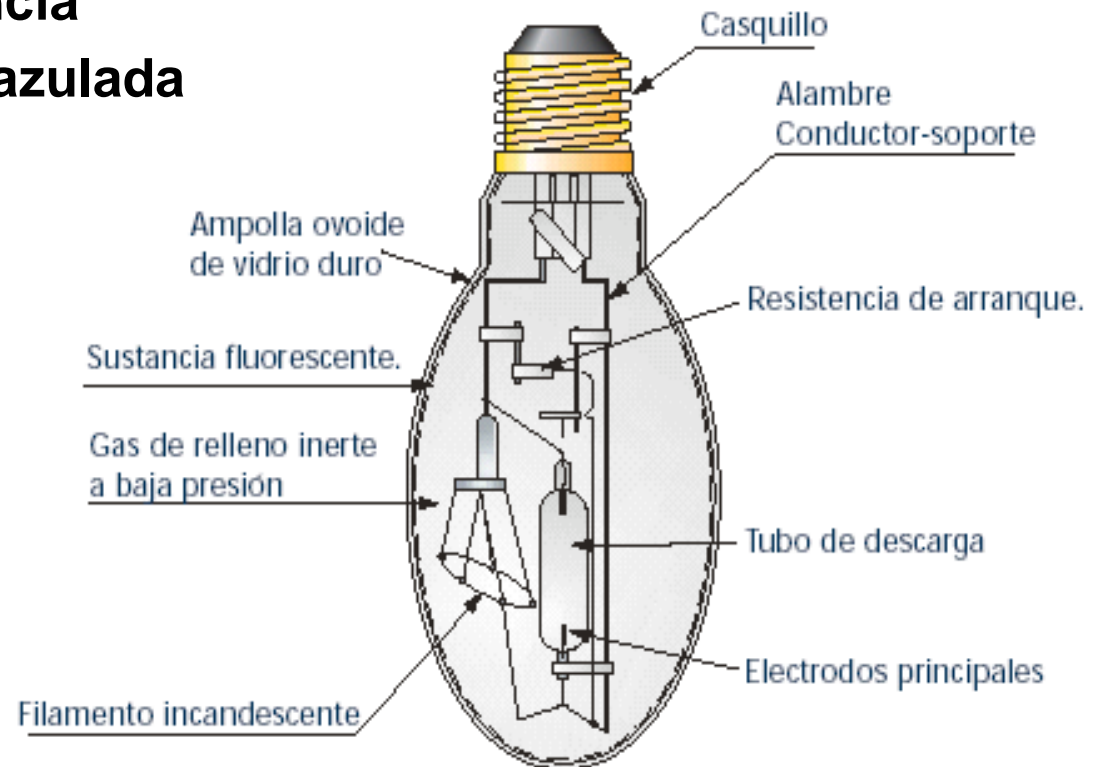
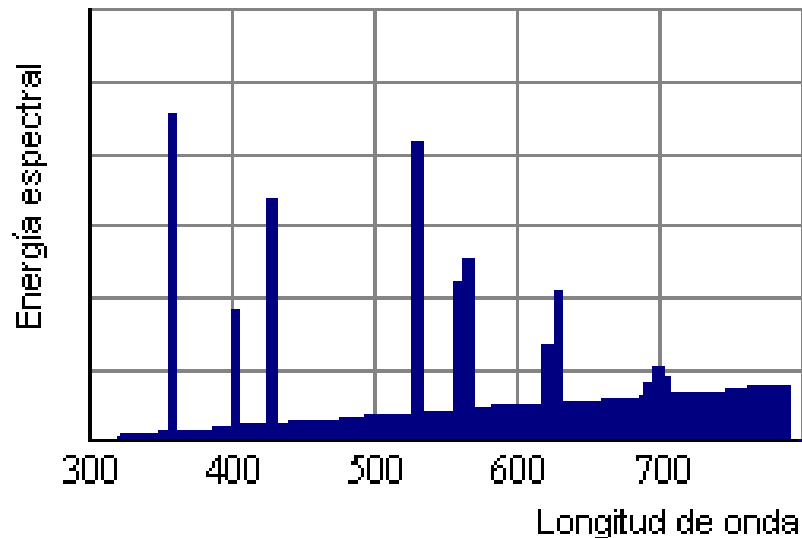
Lámparas de vapor Hg (II)

- **Alta presión (I)**
 - **Ignición:** descarga de baja presión (ionización)
 - **Encendido:** vaporización total (~ 4 min)
 - **Estabilización:** con balasto
 - **Reencendido:** 5 minutos



Lámparas de vapor Hg (II)

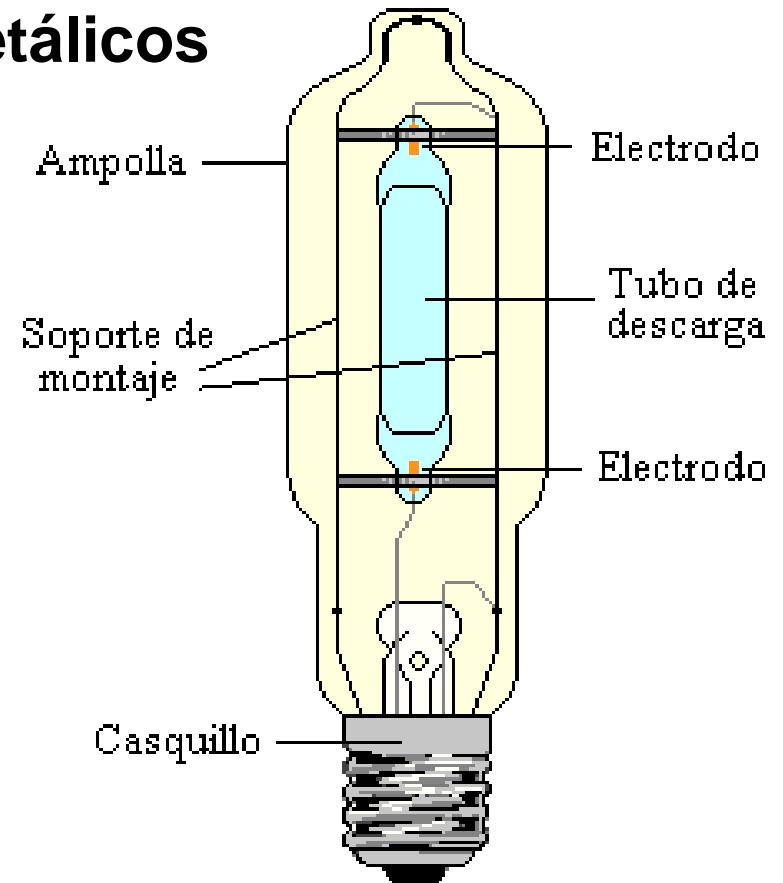
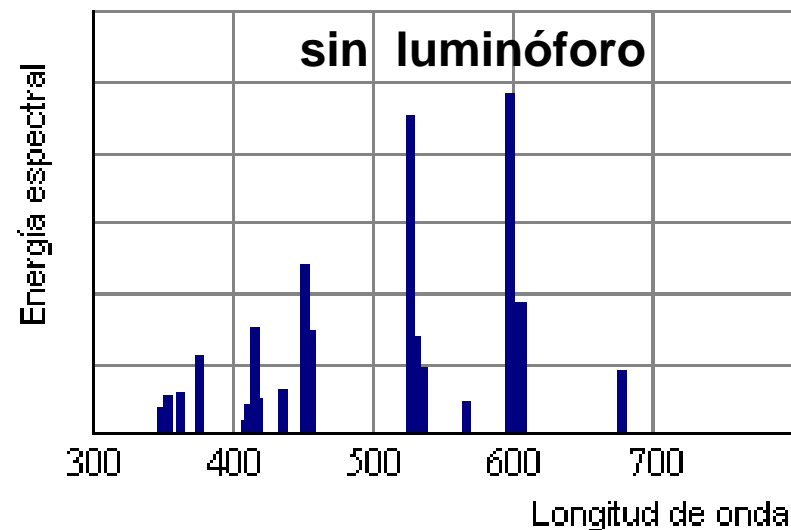
- **Alta presión (II): lámpara de mezcla**
 - Descarga + incandescencia
 - **Objetivo: corregir la luz azulada**
 - **Conexión sin balasto**



Lámparas de vapor Hg (IV)

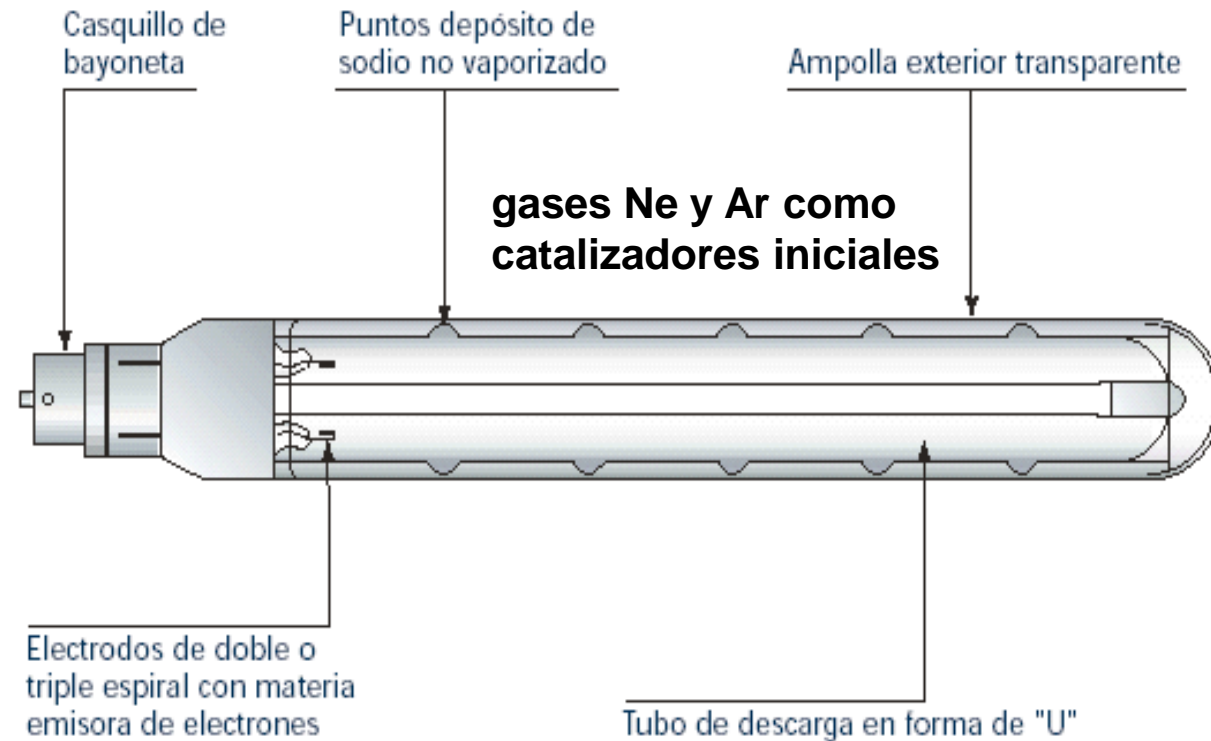
- **Alta presión (III): halogenuros metálicos**

- Halogenuros: Na, Y, O₃
- Tierras raras (Dy, Ho, Tm)
- Objetivo: luz diurna
- Altos voltajes (5 kV)



Lámparas de vapor Na (I)

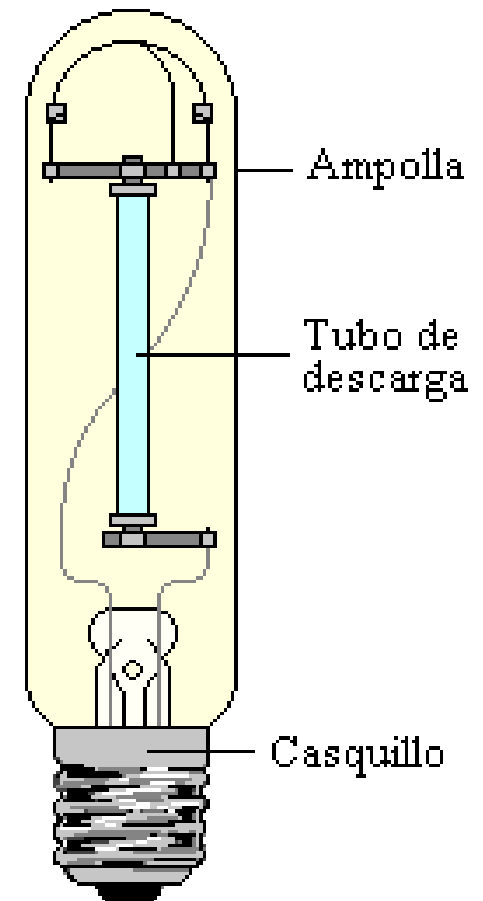
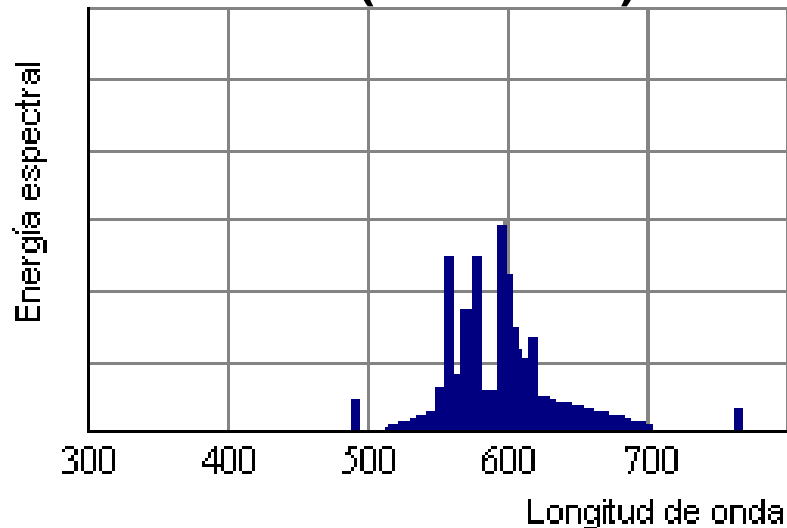
- Baja presión



λ emisión = 589 y 589.6 nm

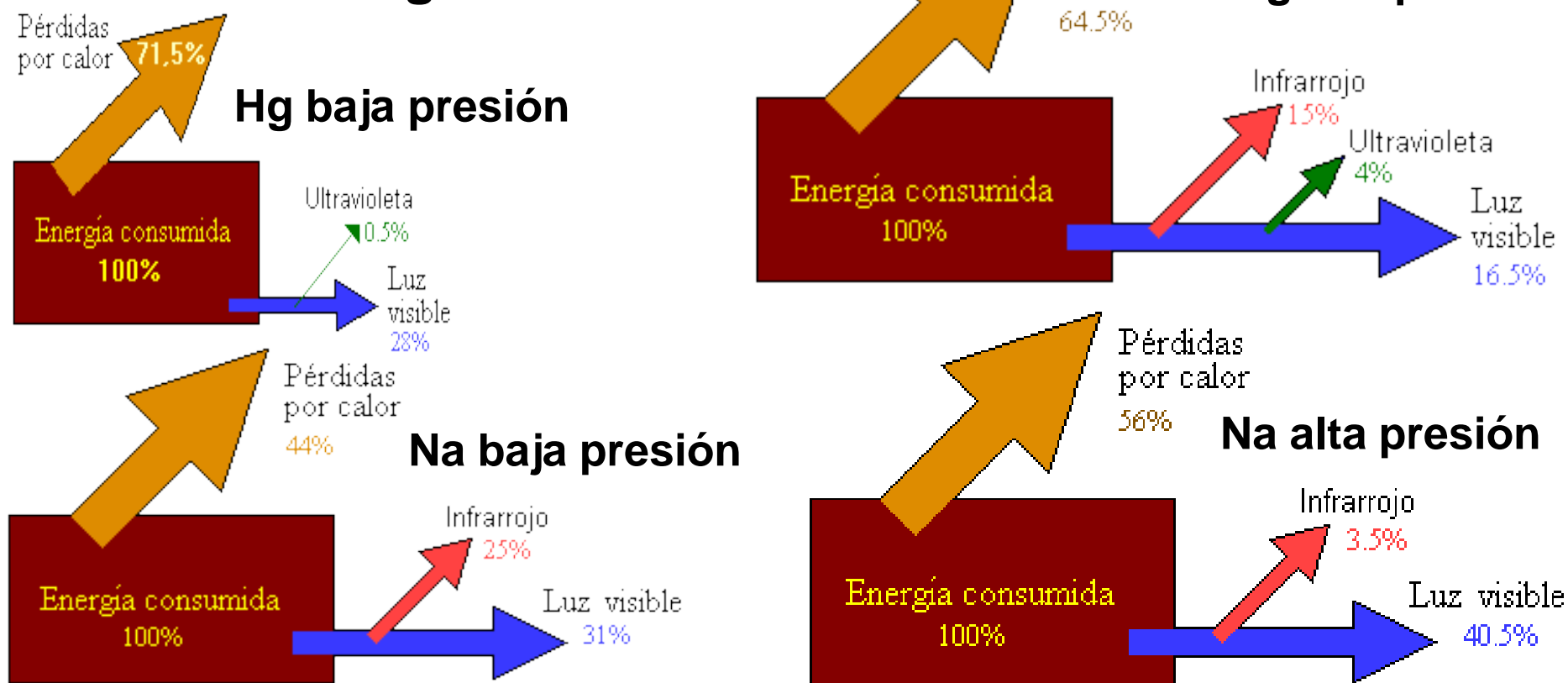
Lámparas de vapor Na (II)

- **Alta presión:**
 - + Hg como amortiguador + Xe para facilitar el encendido y reducir las pérdidas por calor
 - Alta tensión y encendido rápido
 - Enfriado (4 - 15 min)



Comparativa de lámparas (I)

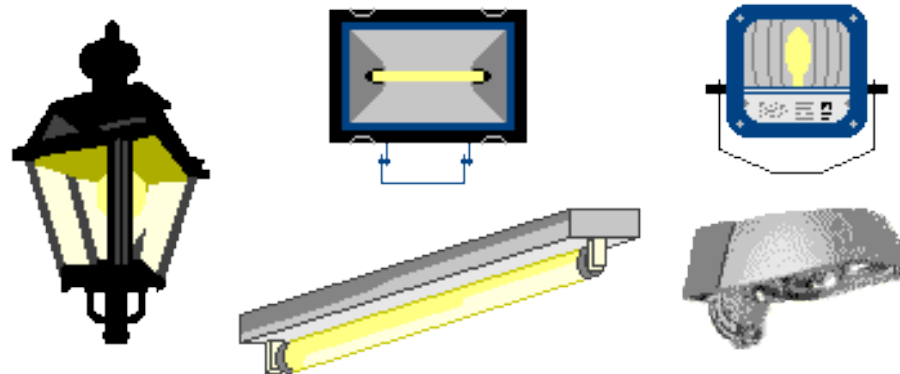
- Balance energético:**



	Descarga de Hg				Descarga de Na	
	Baja presión	Alta presión	Luz mezcla	Halogenuros metálicos	Baja presión	Alta presión
Potencia nominal [W]	58	50	160	70	55	50
Flujo luminoso [lm]	5200	1800	3100	5500	8100	4000
Eficacia luminosa [lm/W]	89.65	36	19.37	78.57	147.27	80
Vida útil [h]	7500	14000	6000	12000	14000	16000
Tiempo de encendido	5 min	4 min	2 min	10 min	15 min	5 min
Tiempo de re-encendido	10 min	5 min	en frío	10 min	2 min	10 min
Temperatura de color [K]	3000 6500	3500 4200	3500 4200	3000 6000	1800	2100
Rendimiento en color	85	50	50	60 - 93	nulo	20 – 65

Luminarias (I)

- **Definición (UNE - EN 60598 - 1, CIE 598 - 1):**
 - “Aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.”



Ejemplos de luminarias

Luminarias (II)

- **Funciones principales:**
 - Redistribuir la luz procedente de la lámpara en la direcciones preferidas con la mínima pérdida de luz
 - Disminuir el deslumbramiento de la fuente
 - Tener un aspecto aceptable y en algunos casos contribuir claramente a la decoración
 - Proporcionar apoyo, protección y conexión eléctrica a la lámpara

Luminarias (II)

- **Componentes básicos (I):**
 - **Armadura o carcasa:**
 - Para interiores o exteriores
 - De superficie o empotradas
 - Suspendidas o de carril
 - De pared, para brazo o sobre columna
 - Abierta, cerrada o estanca
 - Para ambientes normales o de riesgo
 - **Equipo eléctrico:**
 - Incandescentes normales sin elementos auxiliares
 - Halógenas de alto voltaje a la tensión normal de la red, o de bajo voltaje con transformador
 - Fluorescentes, con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control
 - De descarga, con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control

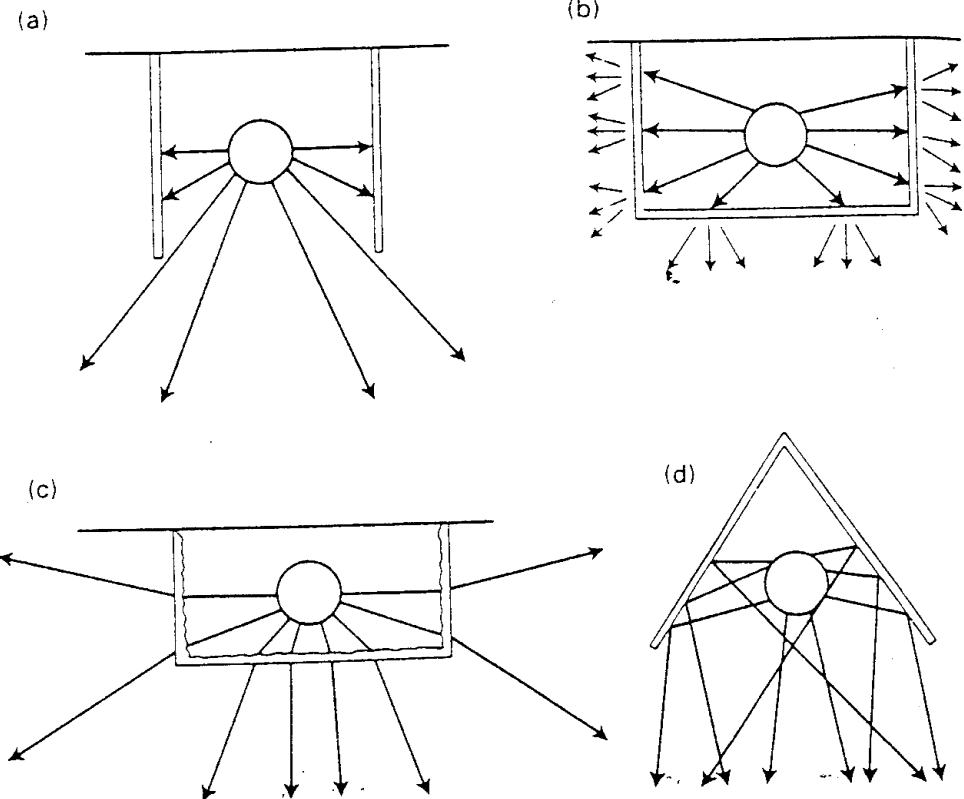
Luminarias (IV)

- **Componentes básicos (II):**
 - **Reflectores:**
 - Simétrico (con uno o dos ejes) o asimétrico
 - Concentrador (haz $< 20^\circ$) o difusor (haz $> 20^\circ$)
 - Especular (escasa dispersión) o no especular
 - Frío (con reflector dicróico) o normal
 - **Difusores:**
 - Opal liso (blanca) o prismática (metacrilato traslúcido)
 - Lamas o reticular (con influencia directa sobre el ángulo de apantallamiento)
 - Especular o no especular (similares a los reflectores)
 - **Filtros**

Luminarias (V)

- **Formas básicas de control de la luz:**

- **Obstrucción**
- **Difusión**
- **Transmisión**
- **Reflexión**



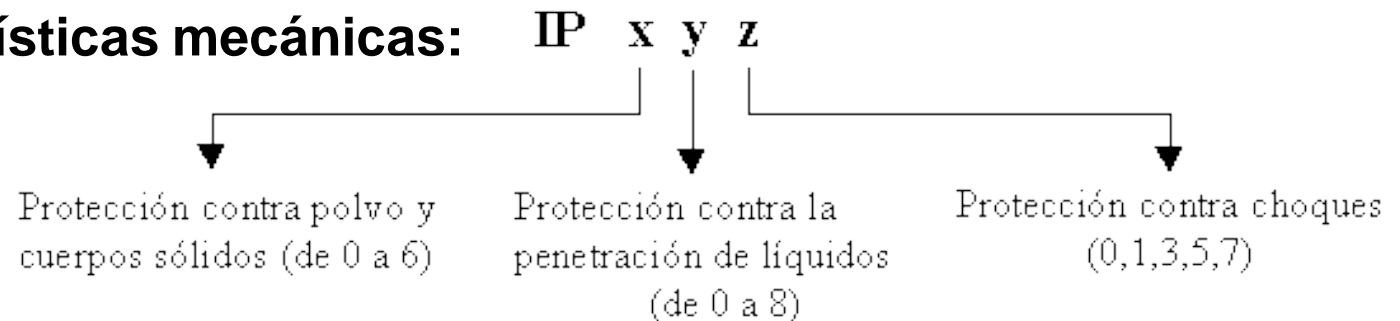
Luminarias (VI)

- **Clasificación de luminarias (I):**

- **Por características eléctricas:**

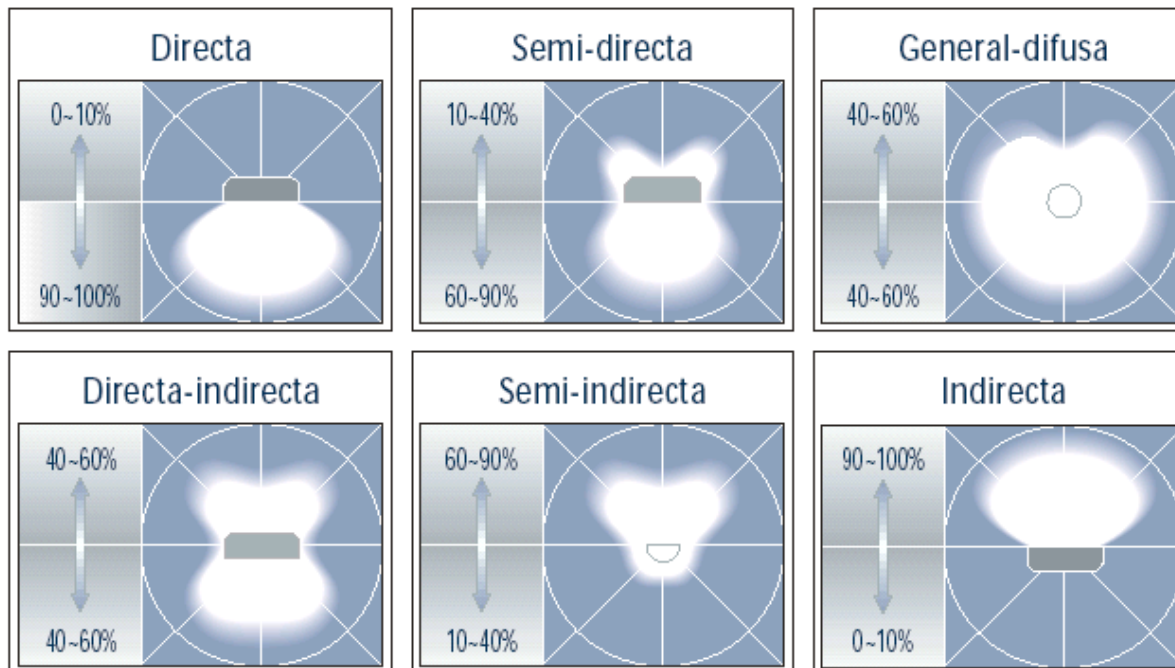
- **Clase 0:** aislamiento normal sin toma de tierra
 - **Clase I:** aislamiento normal con toma de tierra
 - **Clase II:** doble aislamiento sin toma de tierra
 - **Clase III:** luminarias para conectar a circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas de la mencionada

- **Por características mecánicas:**



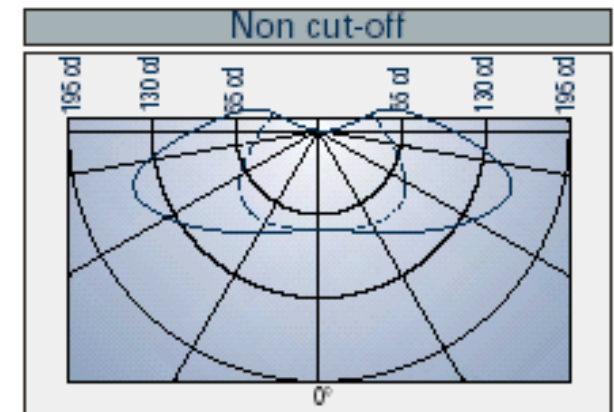
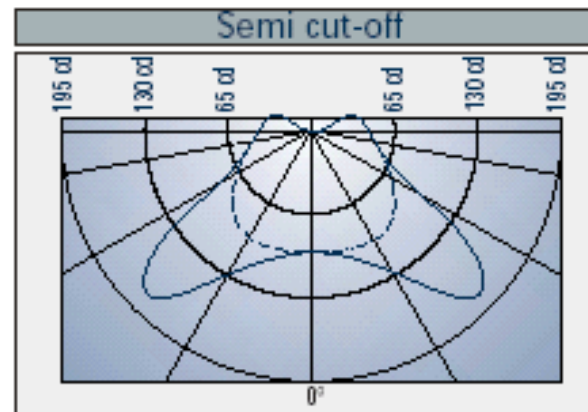
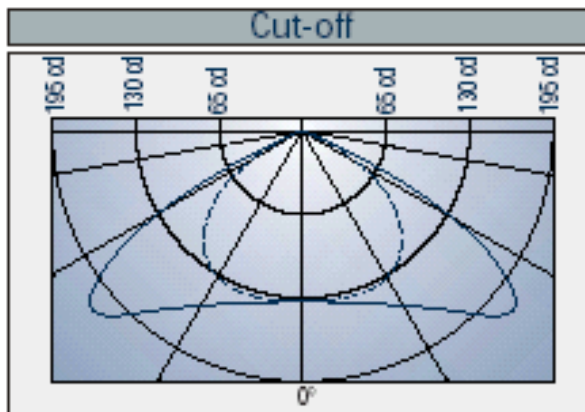
Luminarias (VII)

- **Clasificación de luminarias (II):**
 - **Por características ópticas (I):**
 - **Para iluminación de interiores**



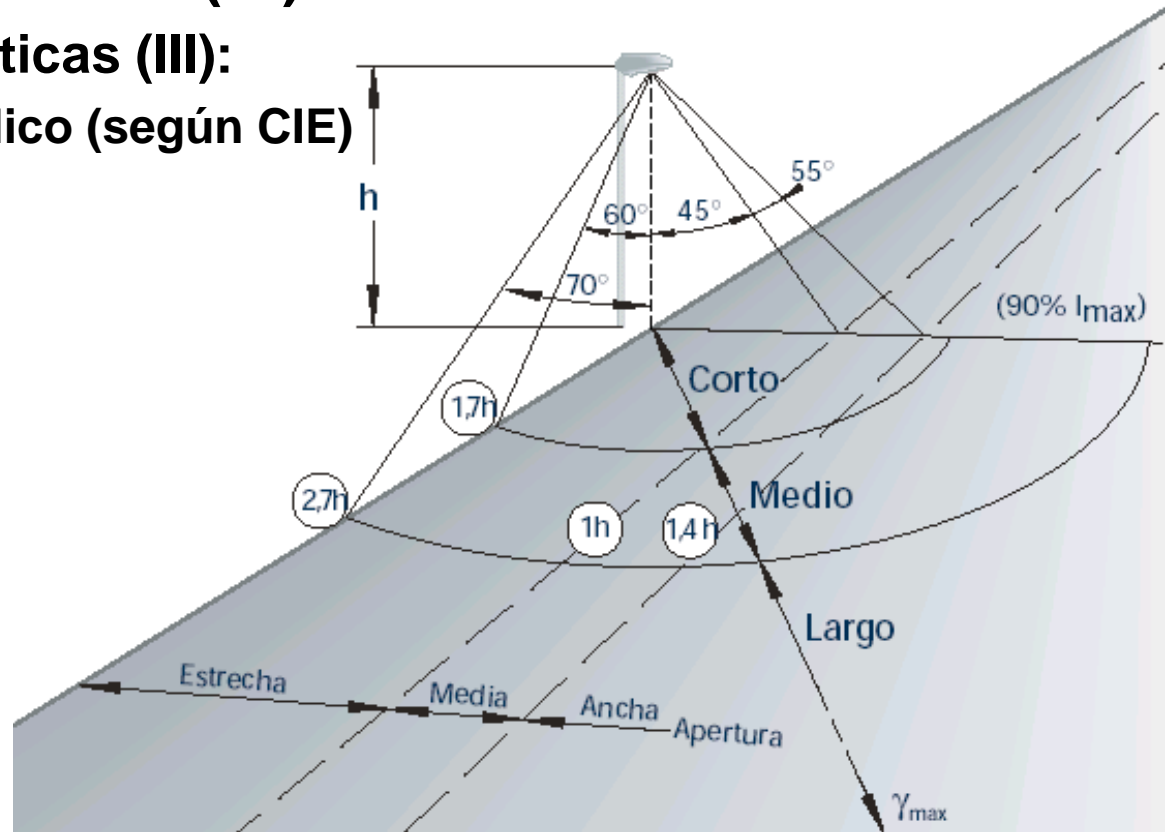
Luminarias (VIII)

- Clasificación de luminarias (III):
 - Por características ópticas (II):
 - Para alumbrado público (clasificación clásica)



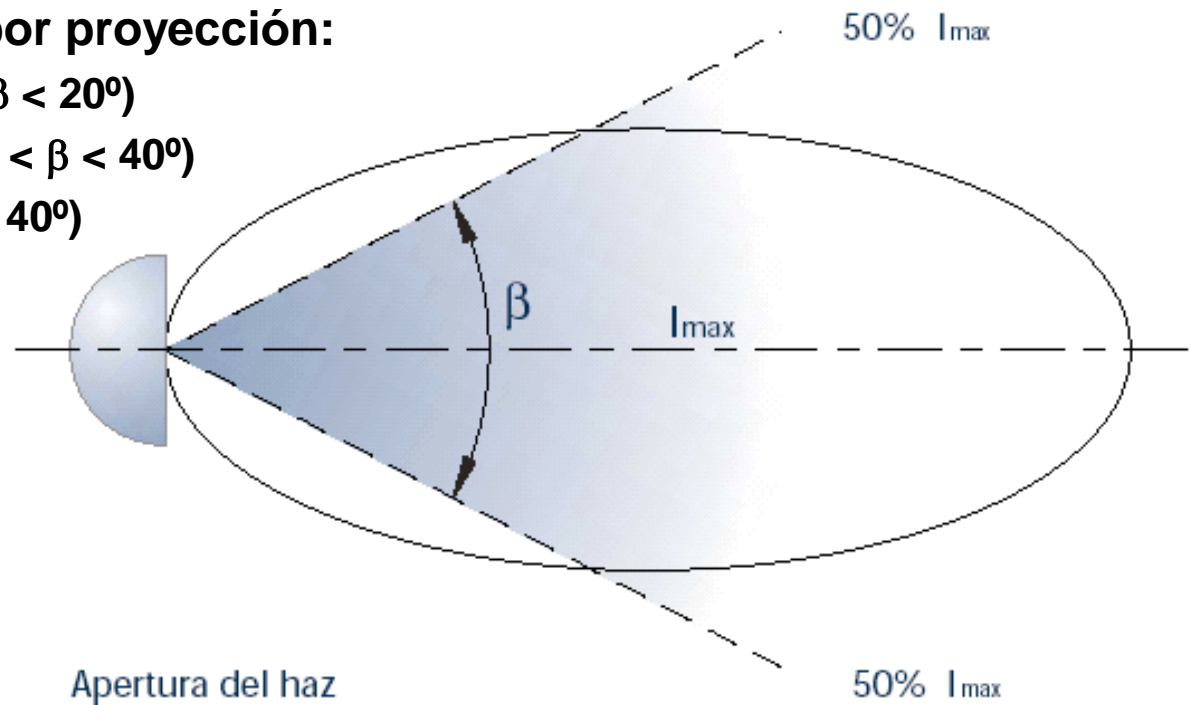
Luminarias (IX)

- Clasificación de luminarias (IV):
 - Por características ópticas (III):
 - Para alumbrado público (según CIE)
 - Alcance
 - Apertura
 - Control



Luminarias (X)

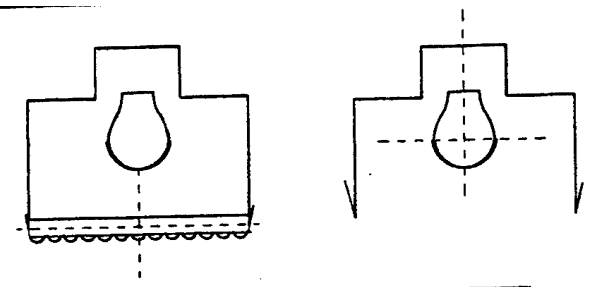
- **Clasificación de luminarias (V):**
 - **Por características ópticas (IV):**
 - Para alumbrado por proyección:
 - Haz estrecho ($\beta < 20^\circ$)
 - Haz medio ($20^\circ < \beta < 40^\circ$)
 - Haz ancho ($\beta > 40^\circ$)



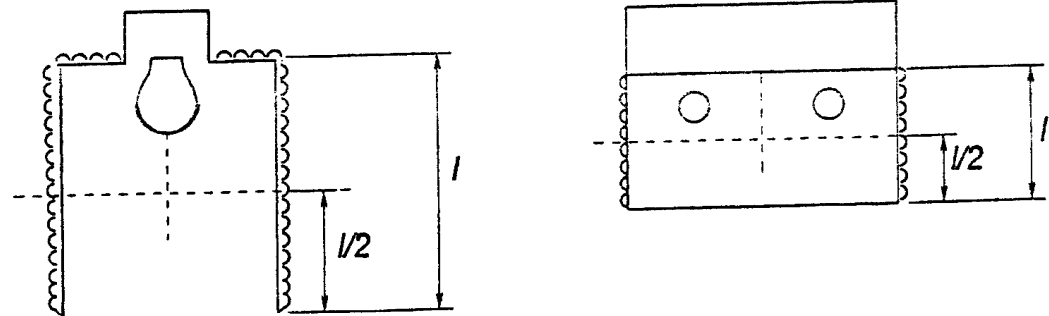
Luminarias (XI)

- Datos fotométricos suministrados (I):
 - Básicos (I):
 - Centro fotométrico

Luminaire with opaque side,
lamp compartment substantially black



Luminaires with diffusing/prismatic sides



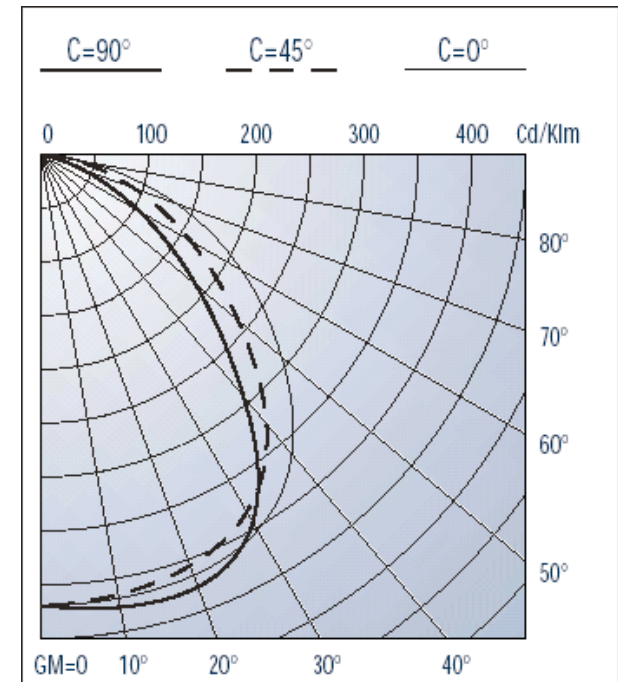
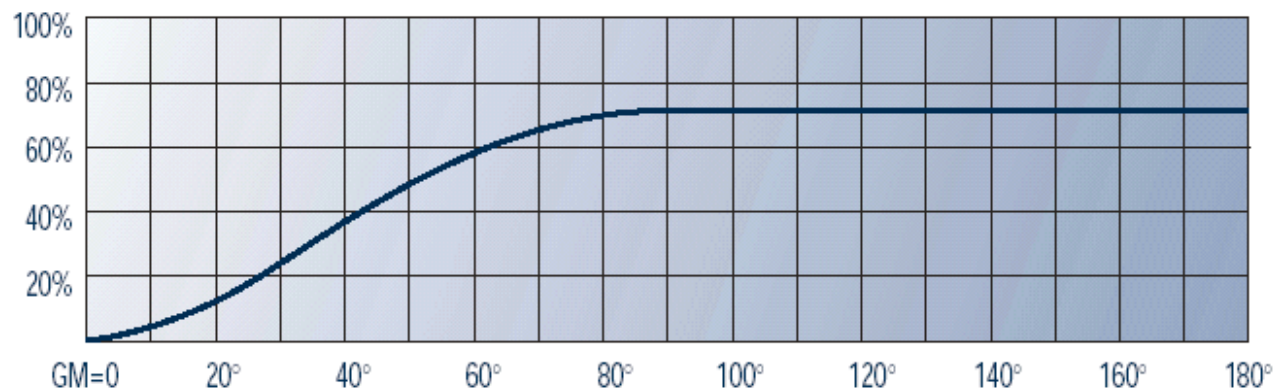
Luminarias (XII)

- **Datos fotométricos suministrados (II):**
 - **Básicos (II):**
 - **Sistemas de coordenadas**
 - **A – α** : sin acuerdo internacional, depende de cada país
 - **B – β** : sin acuerdo internacional, depende de cada país
 - **C – γ** : estándar internacional
 - **Eficiencia de la luminaria η**
 - **Índice de salida de luz (Light Output Ratio – *LOR*)**
 - **Cociente de producción de luz *CPL***

$$CPL = \frac{F_{\text{luminaria}}}{\sum_{i=1}^N F_i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \text{ lámparas}$$

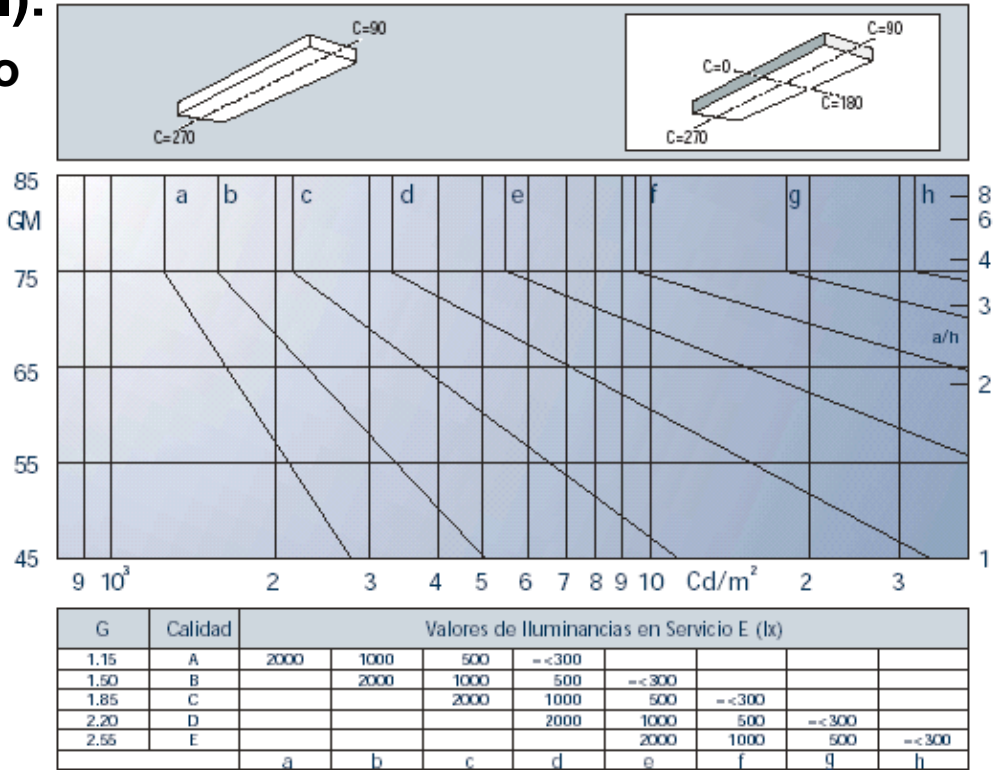
Luminarias (XIII)

- **Datos fotométricos suministrados (III):**
 - Para luminarias de interior (I):
 - Curva polar: planos $C = 0^\circ, 45^\circ$ y 90°
 - Diagrama de flujo zonal
 - Conos con eje vertical (luminaria) y ángulo γ



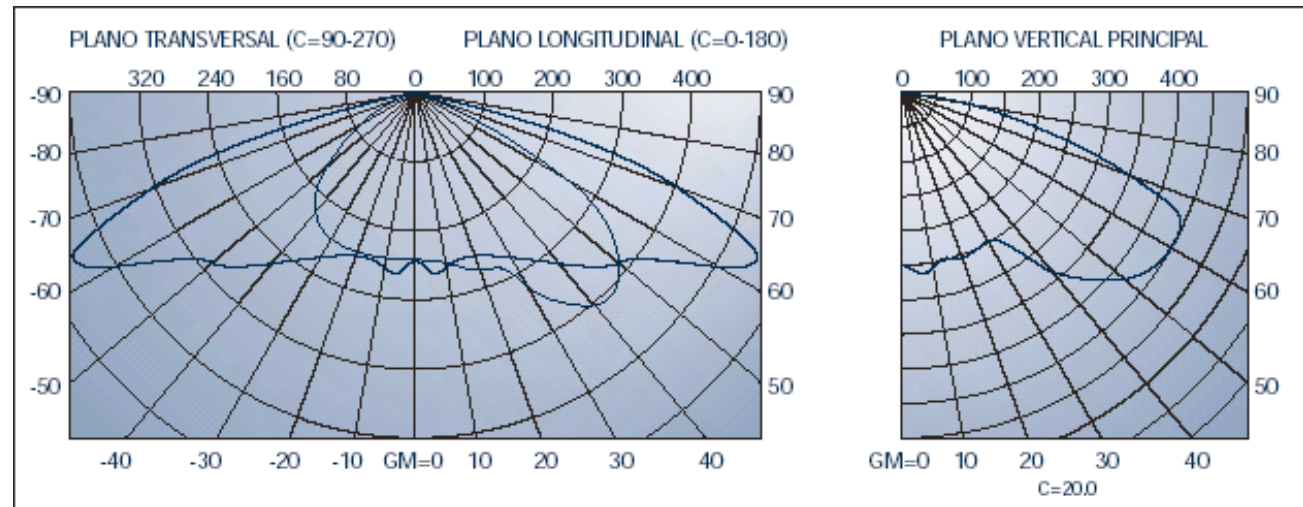
Luminarias (XIV)

- Datos fotométricos suministrados (IV):
 - Para luminarias de interior (II):
 - Diagramas deslumbramiento



Luminarias (XV)

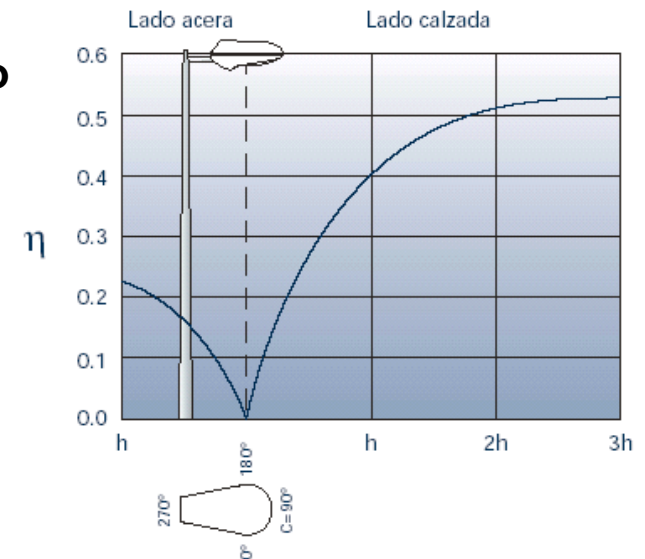
- **Datos fotométricos suministrados (V):**
 - **Para luminarias de alumbrado público (I):**
 - **Curva polar**



- **Diagrama isocandela: alcance y apertura**
- **Diagrama isoluminancia**
- **Diagrama isolux**

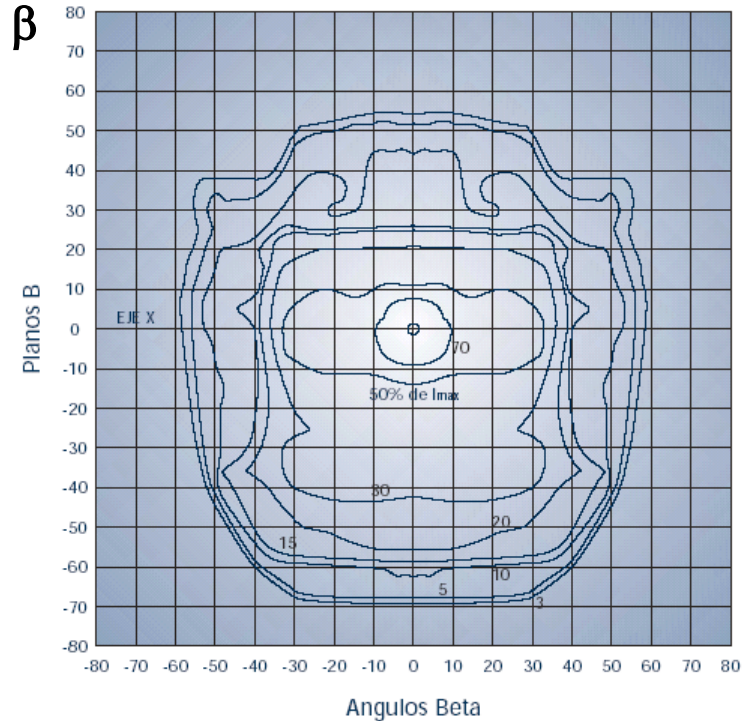
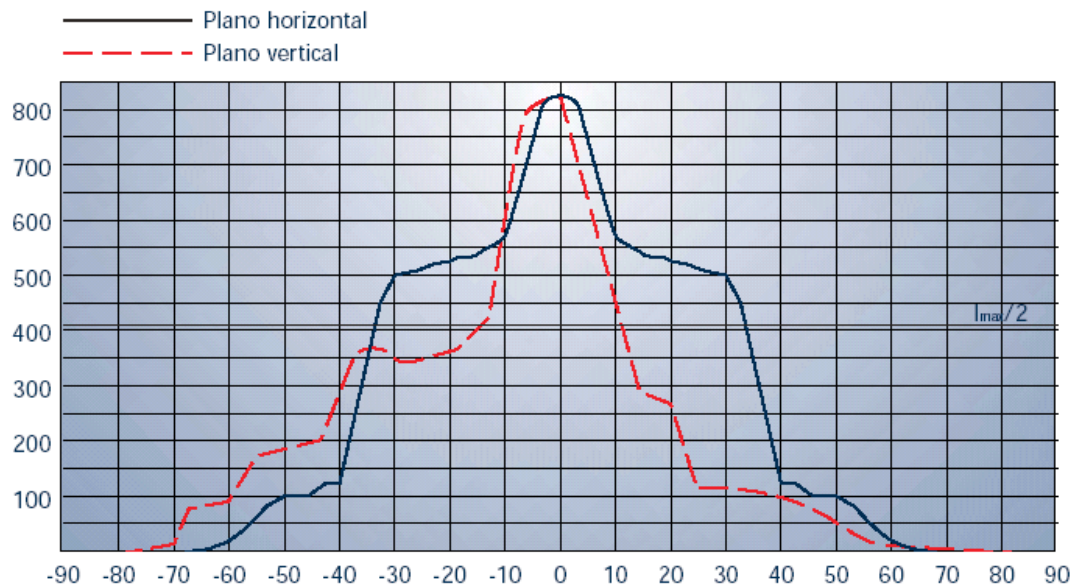
Luminarias (XVI)

- **Datos fotométricos suministrados (VI):**
 - **Para luminarias de alumbrado público (II):**
 - **Rendimiento en luminancias**
 - Luminancia media en la calzada según el observador (ABC)
 - **Factor de utilización**
 - Flujo luminoso relativo que alcanza el camino



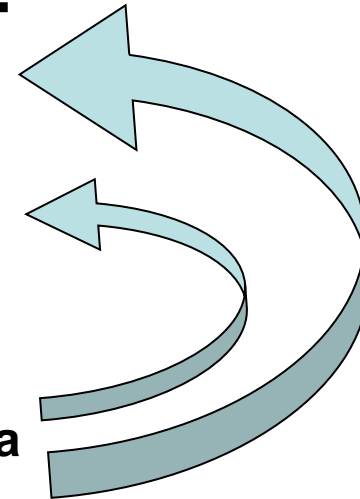
Luminarias (XVII)

- **Datos fotométricos suministrados (VII):**
 - **Para proyectores:**
 - Diagrama cartesiano: coordenadas B - β
 - Diagrama isocandela



Diseño de iluminación

- **Objetivo principal:**
 - Complementar la iluminación natural cuando ésta sea insuficiente para iluminar el área de trabajo
- **Tipos de diseño de iluminación:**
 - Interiores
 - Control del deslumbramiento
 - Exteriores
 - Carreteras, túneles
 - Proyección
 - Iluminación utilitaria, decorativa, deportiva

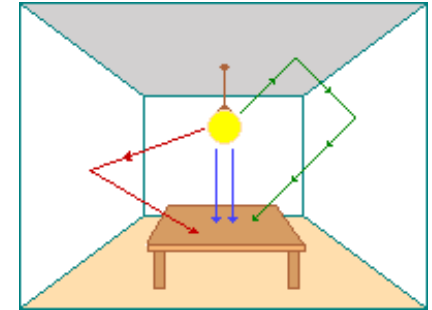


Alumbrado de interiores (I)

- **Aspectos a tener en cuenta:**
 - Deslumbramiento
 - Lámparas y luminarias
 - El color (→ tema siguiente)
 - Sistemas de alumbrado
 - Métodos de alumbrado
 - Niveles de iluminación
 - Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento

Alumbrado de interiores (II)

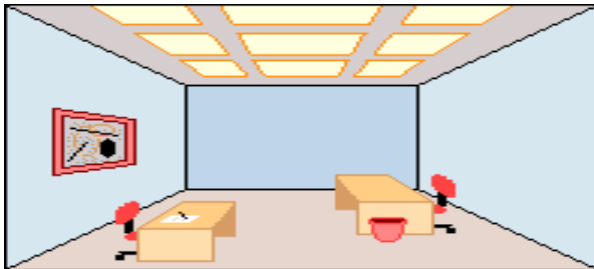
- **Sistemas de alumbrado:**
 - **Iluminación directa**
 - lámparas dirigidas hacia el suelo
 - + económico, mayor rendimiento luminoso
 - riesgo de deslumbramiento directo y aparición de sombras
 - **Iluminación semidirecta: suelo + techo + paredes**
 - sombras + suaves y deslumbramiento menor
 - recomendable para techos no muy altos y sin claraboyas
 - **Iluminación semindirecta: techo + paredes**
 - Colores claros y blancos para evitar pérdidas y alto consumo energético
 - **Iluminación indirecta: luz al techo**
 - **Iluminación difusa: 50 % directa + 50 % indirecta**



Alumbrado de interiores (III)

- Métodos de alumbrado

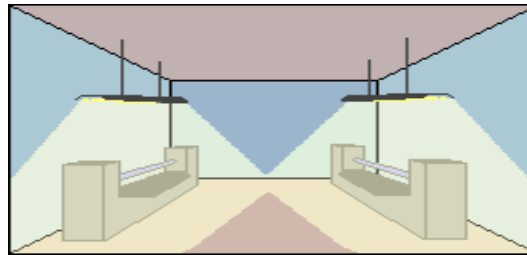
General



Iluminación uniforme

Distribución regular por el techo del local

General localizado

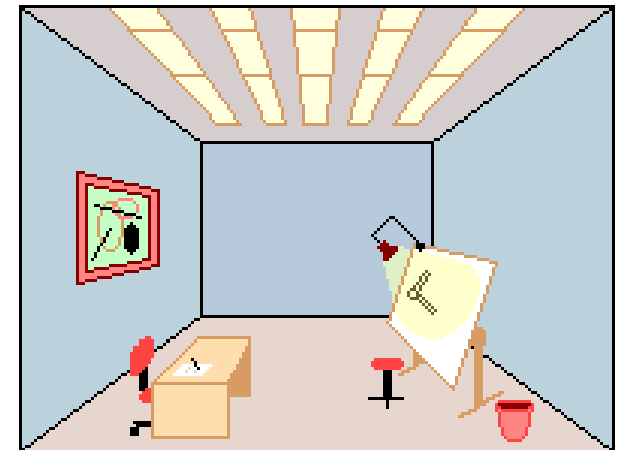


Iluminación no uniforme

Ahorro energético

Deslumbramiento molesto

Local



Iluminación suplementaria cercana (fondo + tarea)

Control deslumbramiento

Alumbrado de interiores (IV)

- **Niveles recomendados de iluminación:**
 - **Tareas con requerimientos luminosos:**
 - **Mínimos:** $E \in [50, 200[\text{ lx}$
 - lugares de paso, áreas secundarias de trabajo (almacén, etc)
 - iluminación general entre espacios
 - **Normales:** $E \in [200, 1000[\text{ lx}$
 - lugares continuamente ocupados
 - iluminación en la tarea
 - **Exigentes:** $E \in [1000,] \text{ lx}$
 - iluminación en la tarea obtenida mediante combinación de alumbrado general y local
 - Tareas visuales muy exigentes

Alumbrado de interiores (V)

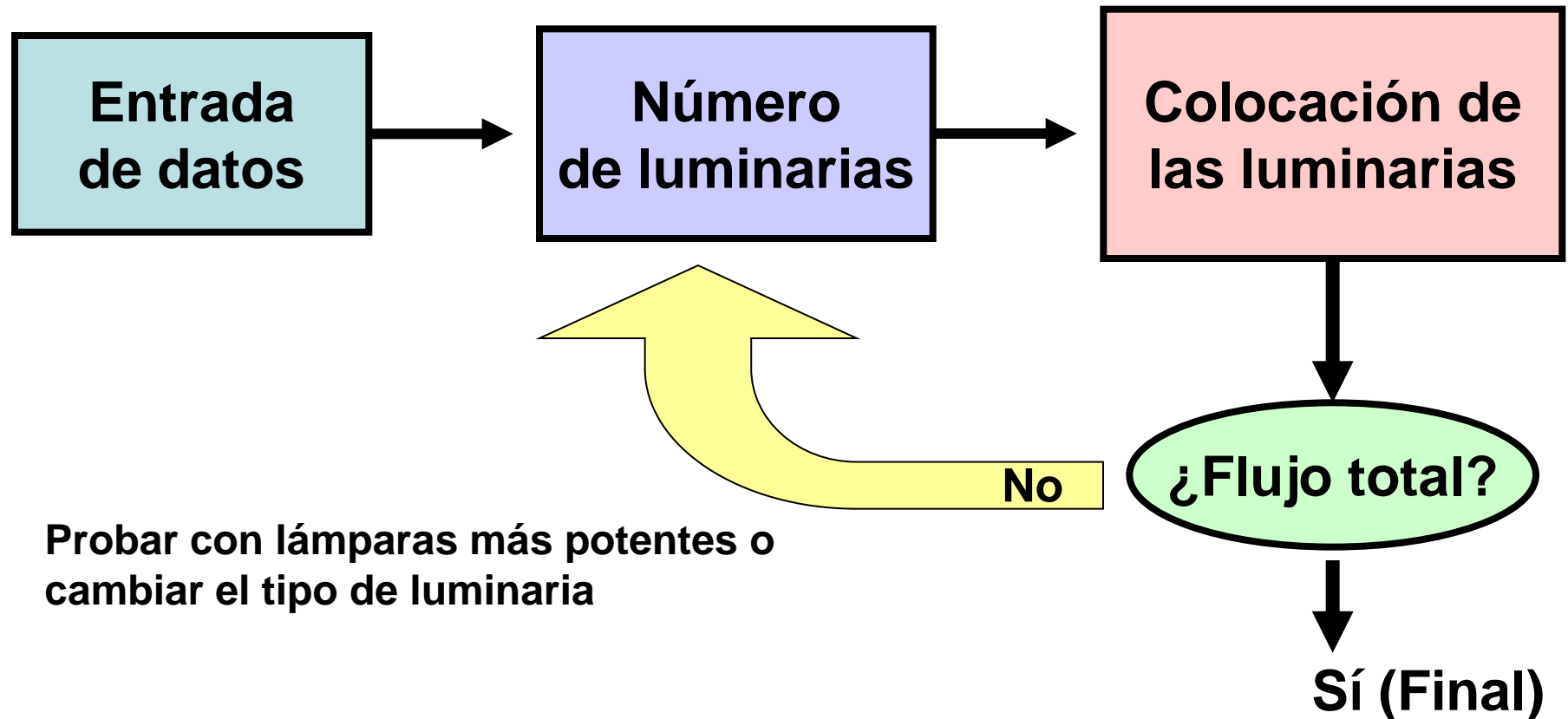
- **Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento**
 - **Causas:**
 - Ensuciamiento de lámparas, luminarias y superficies donde se va depositando el polvo
 - Depreciación del flujo de las lámparas
 - **Soluciones:**
 - Limpieza periódica de lámparas y luminarias
 - Programa de sustitución de las lámparas
 - Es recomendable sustituirlas por grupos

Alumbrado de interiores (VI)

- **Cálculo de instalaciones**
 - **Método de los lúmenes:**
 - Alumbrado general
 - Control de la iluminación media
 - **Método del punto a punto:**
 - Alumbrado general-localizado y local
 - Control de la iluminación en zonas específicas

Alumbrado de interiores (VII)

- Método de los lúmenes (I)



Alumbrado de interiores (VIII)

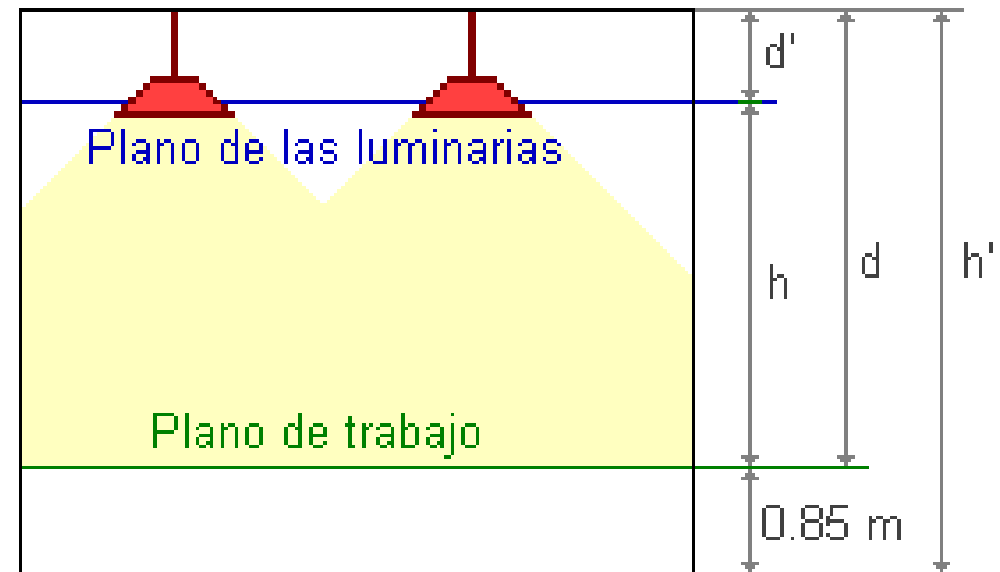
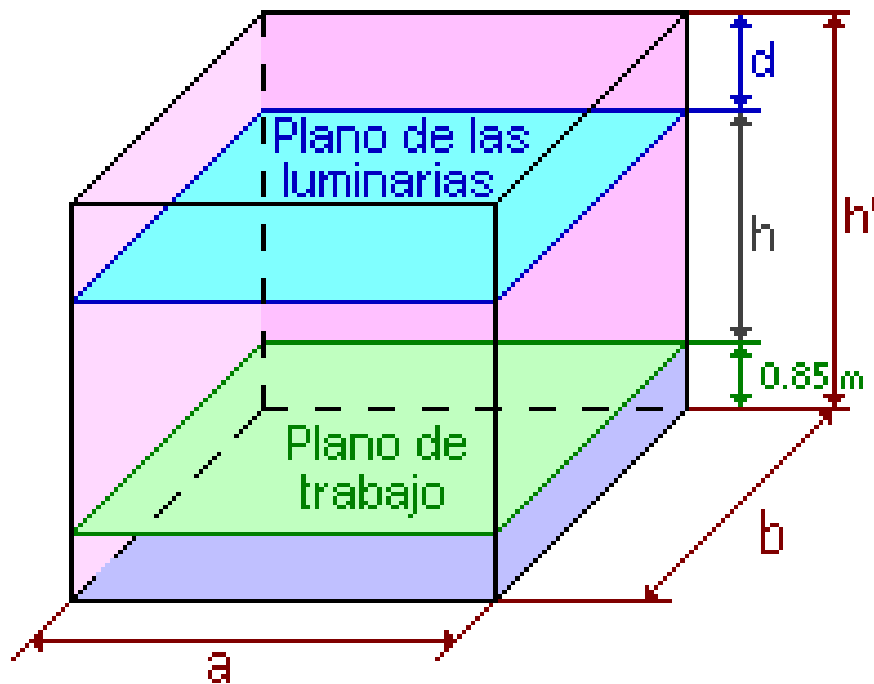
- **Método de los lúmenes (II)**

- **Datos de entrada:**

- dimensiones del local (a , b , h' , $S = a \cdot b$)
 - altura del plano de trabajo (0.85 m del suelo)
 - nivel medio de iluminación (E_m)
 - lámparas y luminarias
 - sistema de alumbrado (directo, indirecto, etc)
 - altura de suspensión de las luminarias (d)
 - índice del local (k), depende del sistema de alumbrado
 - coeficientes de reflexión de paredes, techo y suelo (ρ)
 - factor de utilización (η)
 - factor de mantenimiento (f_m)

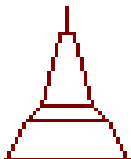
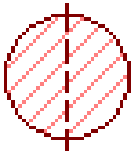
Alumbrado de interiores (IX)

- Método de los lúmenes (III)



Alumbrado de interiores (X)

- Método de los lúmenes (IV)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
 	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.56	.56	.52	.58	.56	.52	.56	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67	

Alumbrado de interiores (XI)

- **Método de los lúmenes (V): cálculos**

- **Flujo luminoso total necesario**

$$\Phi_{TOTAL} = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m}$$

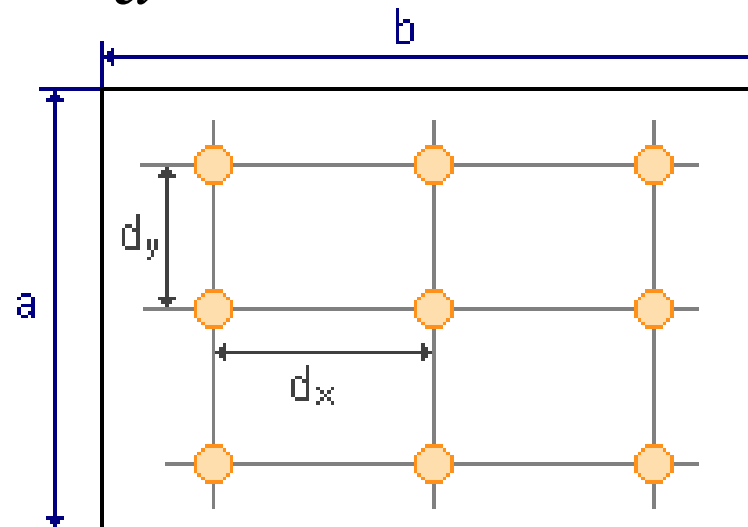
- **Cálculo del número de luminarias**

$$N = \frac{\Phi_{TOTAL}}{n \cdot \Phi_{LAMPARA}}$$

Alumbrado de interiores (XII)

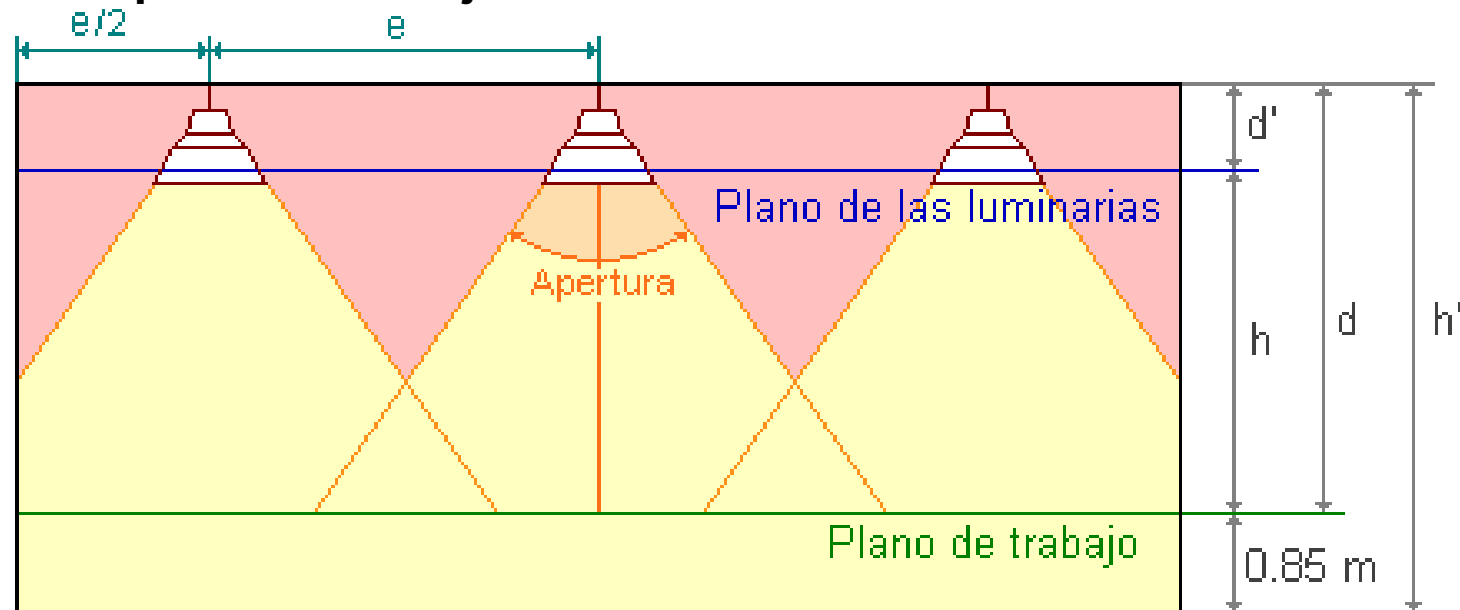
- **Método de los lúmenes (VI): cálculos**
 - Colocación de las luminarias (rectangular)

$$N_{ANCHO} = \sqrt{N \cdot \frac{b}{a}} \quad ; \quad N_{LARGO} = N_{ANCHO} \frac{a}{b}$$



Alumbrado de interiores (XIII)

- **Método de los lúmenes (VII): cálculos**
 - **Separación entre las luminarias (I):**
 - Depende de la apertura del haz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo



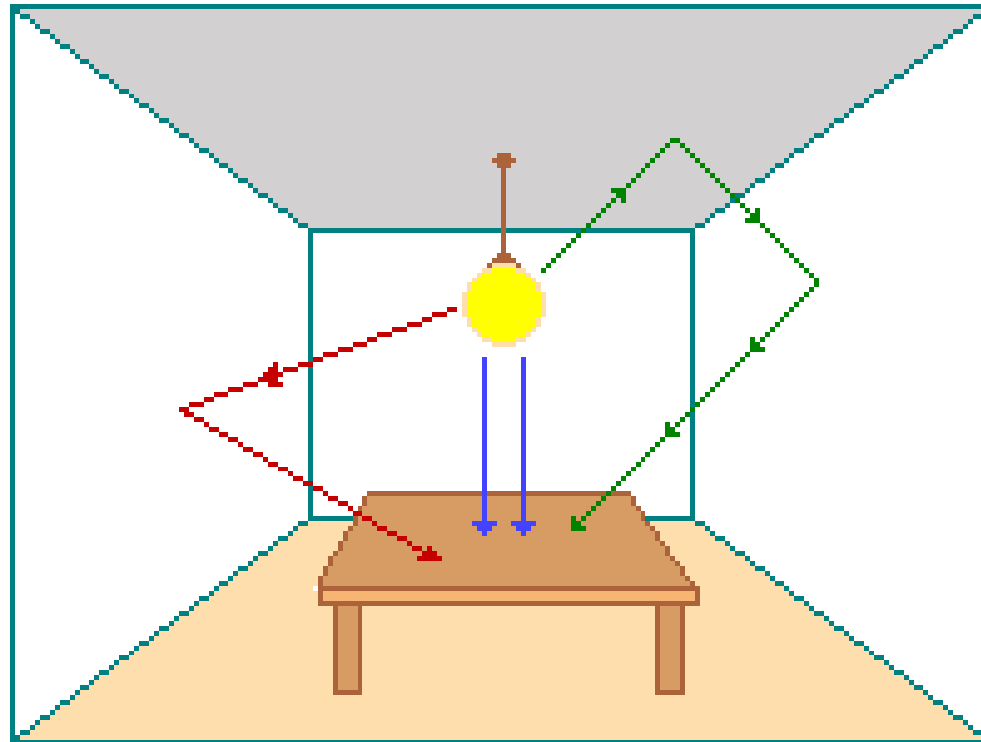
Alumbrado de interiores (XIV)

- Método de los lúmenes (VIII): cálculos
 - Separación entre las luminarias (II):

Luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
Intensiva	> 10 m	$e < 1.2h$
Extensiva	6 - 10 m	$e < 1.5h$
Semiextensiva	4 – 6 m	
Extensiva	< 4 m	$e < 1.6h$
Distancia de la pared a la luminaria: $e/2$		

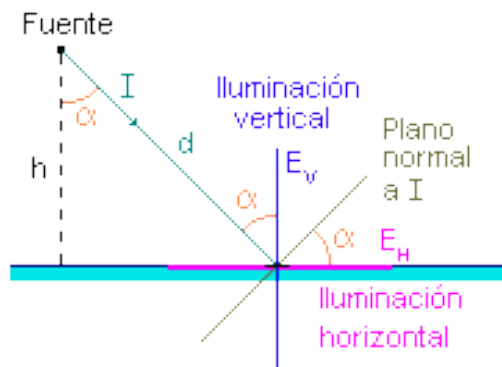
Alumbrado de interiores (XV)

- **Método del punto a punto (I):**
 - Iluminación = (componente directa) + (componente indirecta – techo y paredes)



Alumbrado de interiores (XVI)

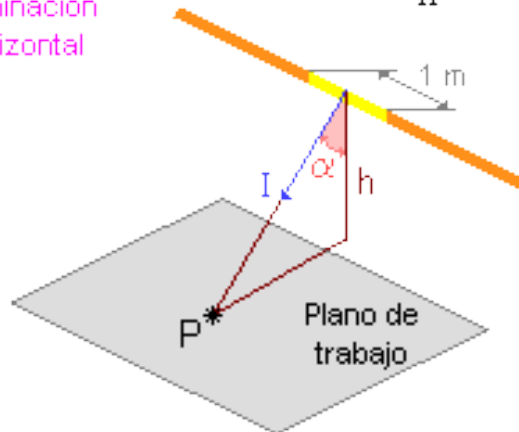
- Método del punto a punto (II): cálculos
 - Iluminación directa por varias luminarias



$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}$$

Simétricas



$$E_H = \frac{\pi \cdot I}{2h} \cdot \cos^2 \alpha$$

$$E_v = \frac{\pi \cdot I}{2h} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

Asimétricas

Alumbrado de interiores (XVII)

- **Método del punto a punto (III): cálculos**
 - Iluminación indirecta o reflejada en un punto
 - Suposición básica: luz reflejada uniformemente

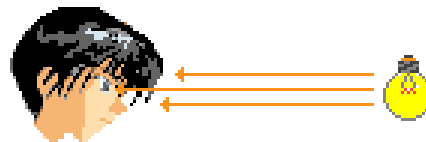
$$E_{IND} = E_{IND_H} = E_{IND_V} = \frac{\Phi_{LAMP}}{S_T} \cdot \frac{\rho_m}{1 - \rho_m}$$

$$S_T = \sum_{i=1}^n S_i : \text{ suma de las superficies del local}$$

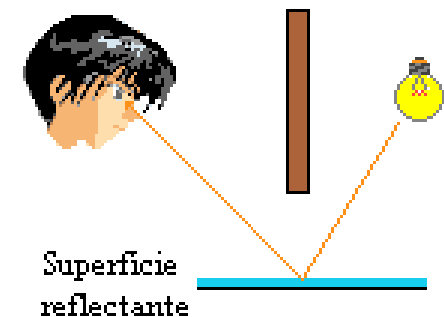
$$\rho_m = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} : \text{ reflectancia media del local}$$

Deslumbramiento (I)

- **Definición:** $L_{\text{OBJETO}} \ggg L_{\text{FONDO}}$
- **Tipos (G):**
 - **Incapacitante o perturbador:**
 - Pérdida de la visión de detalles (AV $\downarrow\downarrow$)
 - Ejemplo: Luces largas de un coche, Sol entre el retrovisor
 - **Disconfortante o molesto:**
 - Produce malestar o fatiga visual
 - **Directo:**
 - **Indirecto:**



Deslumbramiento directo



Deslumbramiento indirecto

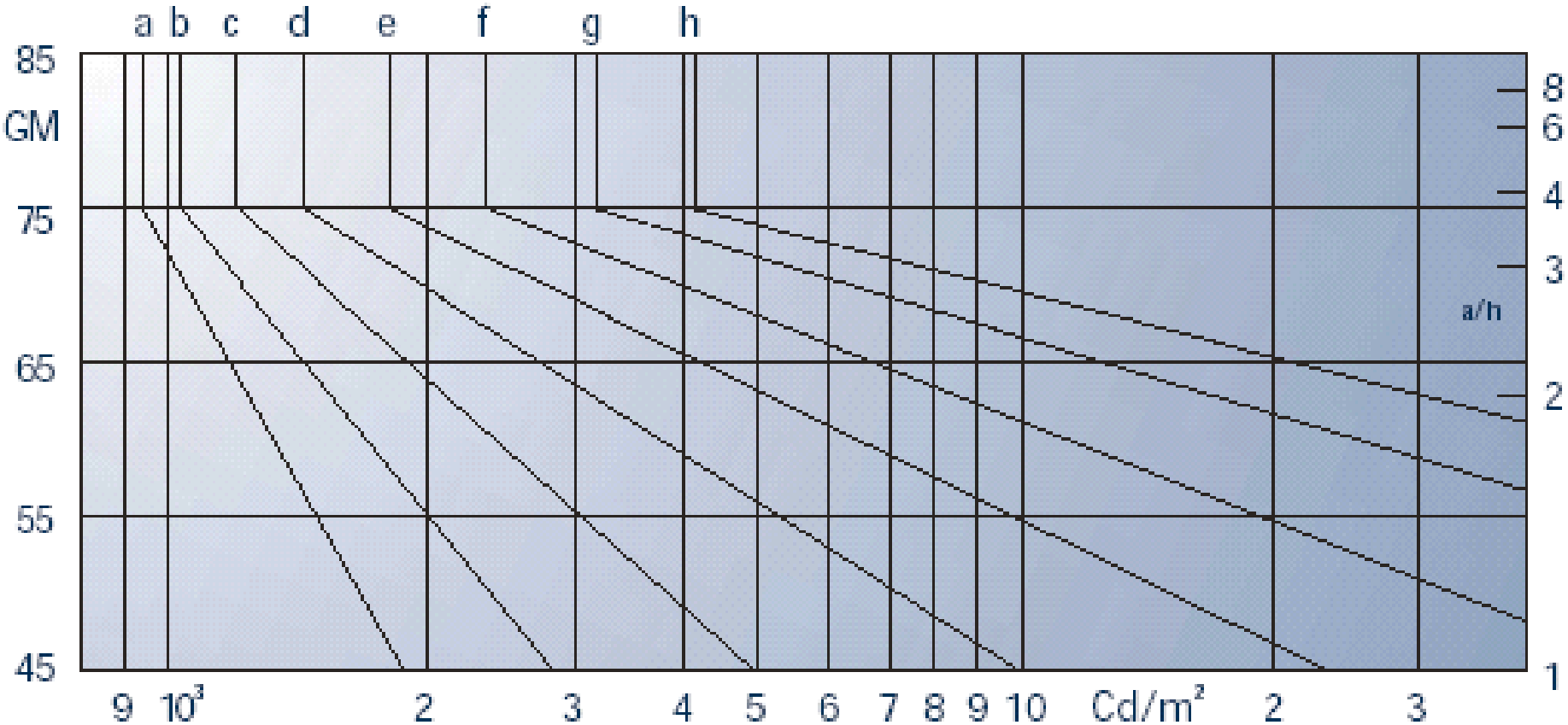
Deslumbramiento (II)

- **Deslumbramiento directo (I)**
 - Variables que influyen:
 - si $L_{\text{LAMP}} \uparrow \Rightarrow G \uparrow$
 - si $\alpha_{\text{LAMP}} \uparrow \Rightarrow G \uparrow$
 - si $L_{\text{FONDO}} \uparrow \Rightarrow G \downarrow$
 - si distancia a línea de mirada $\uparrow \Rightarrow G \downarrow$
- **Medidas de prevención**
 - Usando de filtros para reducir L_{LAMP}
 - Alejando de la lámpara del observador $\Rightarrow \alpha_{\text{LAMP}} \downarrow$
 - Aumentando de la luminancia del fondo pintando p.e. las paredes de alta reflectancia
 - Alejando excéntricamente la fuente de la línea de mirada

Deslumbramiento (III)

- **Deslumbramiento directo (II)**
 - **Niveles de tolerancia:**
 - **A: tareas visuales muy exactas**
 - **B: tareas con demandas visuales que requieren concentración**
 - **C: tareas con demandas visuales moderadas y con un cierto grado de movilidad del trabajador**
 - **D: tareas con pocas demandas visuales y gran movilidad en un área restringida**
 - **E: interiores que no son utilizados de forma continua por las mismas personas**

G	Calidad	Valores de Iluminancias en Servicio E (lx)							
1.15	A	2000	1000	500	=<300				
1.50	B		2000	1000	500	=<300			
1.85	C			2000	1000	500	=<300		
2.20	D				2000	1000	500	=<300	
2.55	E					2000	1000	500	=<300
		a	b	c	d	e	f	g	h



Deslumbramiento (V)

- **Deslumbramiento indirecto:** Superficies pulidas y semipulidas
- **Medidas de prevención:**
 - Evitar la dirección de la luz reflejada
 - Incrementar la cantidad de luz que alcanza el área de trabajo desde los laterales
 - Utilizar luminarias con luminancias bajas y superficies luminosas extensas
 - Emplear superficies mates
 - Techos con luminancias altas
 - Suelos con luminancias bajas
 - Valores recomendados en oficinas:

Techo: $E \in [225, 300]$ lx, $\rho \in [0.7, 0.9]$

Paredes: $E \in [160, 225]$ lx, $\rho \in [0.5, 0.8]$

Suelo: $E \in [60, 100]$ lx, $\rho \in [0.2, 0.3]$

Deslumbramiento (VI)

- **Deslumbramiento natural**
 - Las ventanas deben tener algún mecanismo para reducir de forma significativa, gradual y controlada la luminancia
 - Uso de persianas
 - Aumentar la luminancia del fondo utilizando superficies de reflectancias alta en las proximidades de las ventanas
 - Colocar las ventanas lo más alejadas posibles de la línea de mirada

Alumbrado de exteriores (I)

- **Conceptos previos de iluminación**
- **Criterios de calidad**
- **Lámparas y luminarias**
- **Disposición de las luminarias en la vía**
- **Niveles recomendados de iluminación**

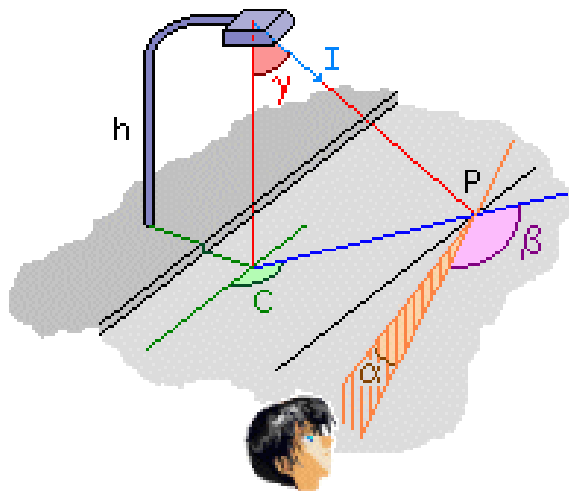
Alumbrado de exteriores (II)

- **Conceptos previos de iluminación (I)**

- Iluminación:

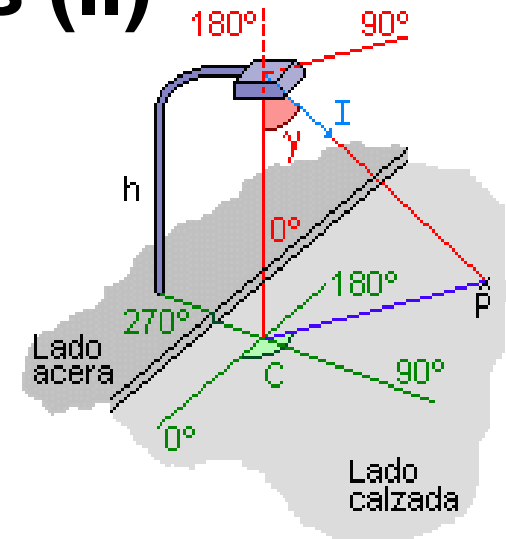
$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cos^3 \gamma_i$$

- Luminancia de la calzada:



Coeficiente de luminancia

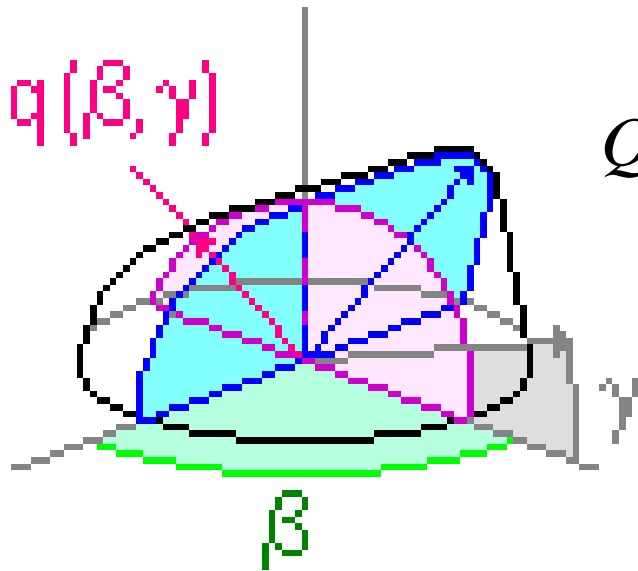
$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot q(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cos^3 \gamma_i$$



Alumbrado de exteriores (III)

- **Conceptos previos de iluminación (II)**
 - **Características del pavimento: factor de reflexión R**

$$R(\beta_i, \tan \gamma_i) = q(\beta_i, \gamma_i) \cdot \cos^3 \gamma_i$$



$$Q_0 = \frac{\int q(\beta_i, \gamma_i) d\omega}{\int d\omega}$$

Reflectancia total

$$S_1 = \frac{R(0,2)}{R(0,0)}$$

Factor especular 1

$$S_2 = \frac{Q_0}{R(0,0)}$$

Factor especular 2

Alumbrado de exteriores (IV)

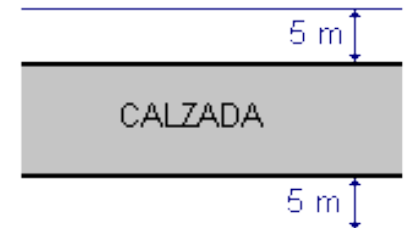
- Conceptos previos de iluminación (II)
 - Clasificación del pavimento:

Clase	Tipo de reflexión	Límite de S_1	Valor Q_0
NI	Difusa	$[0, 0.28[$	0.10
NII	Aprox. difusa	$[0.28, 0.60[$	0.07
NIII	Ligeramente brillante	$[0.60, 1.30[$	0.07
NIV	Brillante	$[1.30, +\infty[$	0.08

Clase	Tipo de reflexión	Límite de S_1	Valor Q_0
CI	Difusa	$[0, 0.4[$	0.10
CII	Especular	$[0.4, +\infty[$	0.07

Alumbrado de exteriores (V)

- **Criterios de calidad: seguridad y comodidad**
 - Luminancia media de la calzada: L_m
 - Coeficientes de uniformidad:
 - Rendimiento visual: $U_0 = L_{\min}/L_m$
 - Comodidad visual: $U_L = L_{\min}/L_{\max}$ (línea central)
 - Deslumbramiento:
 - Perturbador: incremento umbral $TI = 65 \cdot L_{\text{VELO}}/(L_m)^{0.5}$
 - Molesto: $G < 3$ (alumbrado inadecuado)
 - Coeficiente de iluminación en los alrededores:
 - Que los peatones sean visibles para los conductores
 - Iluminación media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada

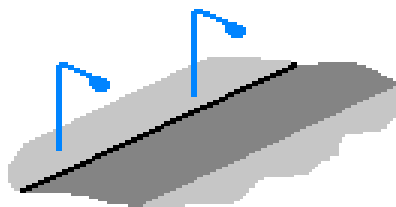


Alumbrado de exteriores (VI)

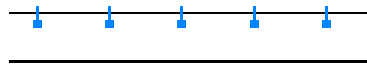
- Lámparas y luminarias
 - De descarga frente a las incandescentes
 - Vapor Hg de alta presión, vapor Na de alta/baja presión
 - Clasificación de las luminarias:
 - Alcance
 - Dispersión
 - Control (SLI): capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce
 - Control limitado: $SLI \leq 2$
 - Control medio: $2 < SLI \leq 4$
 - Control intenso: $SLI > 4$

Alumbrado de exteriores (VII)

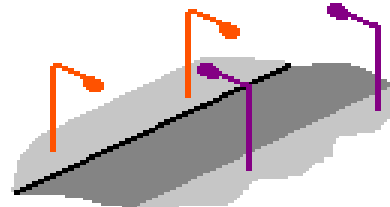
- Disposición de las luminarias en la vía (I)
 - Objetivo: advertir con antelación al conductor del trazado de la carretera (curvas, rasantes, etc)
 - Tramos rectos de vías con única calzada



Unilateral



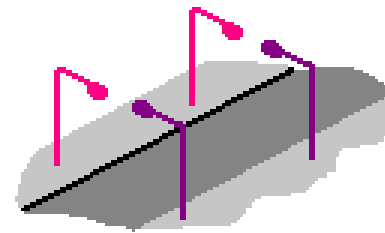
$$a/h < 1$$



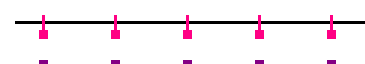
Tresbolillo



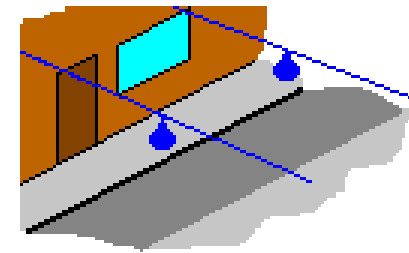
$$1 < a/h < 1.5$$



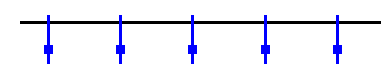
Pareada



$$a/h > 1.5$$



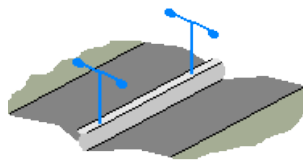
Suspendida transversal



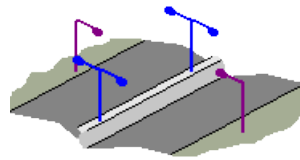
Calles muy estrechas

Alumbrado de exteriores (VIII)

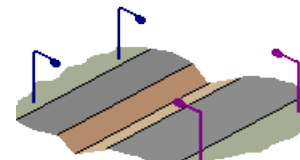
- Disposición de las luminarias en la vía (II)
 - Tramos rectos de vías con dos o más calzadas



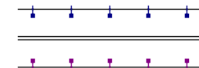
Central con doble brazo



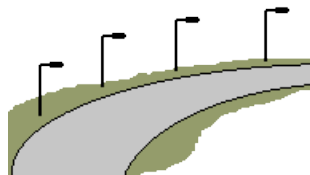
Combinación brazos dobles y tresbolillo



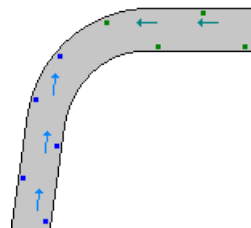
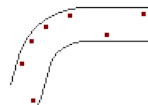
Unilateral en calzadas diferenciadas



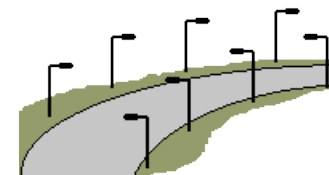
- Tramos curvos: Radio < 300 m



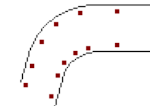
Unilateral por el lado exterior



Disposición correcta de las luminarias en una curva

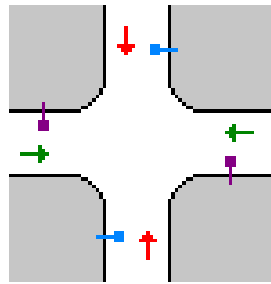


Bilateral pareada

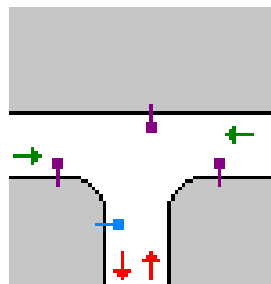


Alumbrado de exteriores (IX)

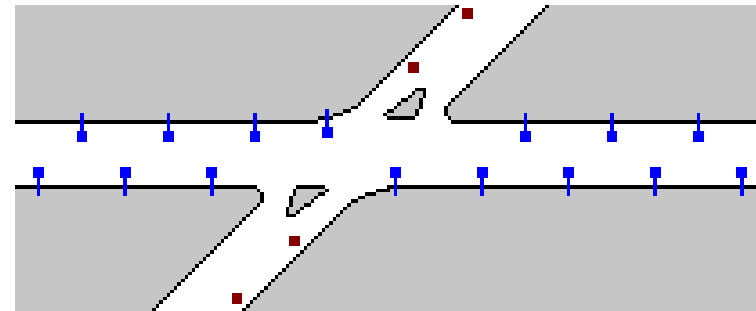
- Disposición de las luminarias en la vía (III)
 - Cruces: nivel alto de iluminación, colores diferentes



Cruce de 4 calles

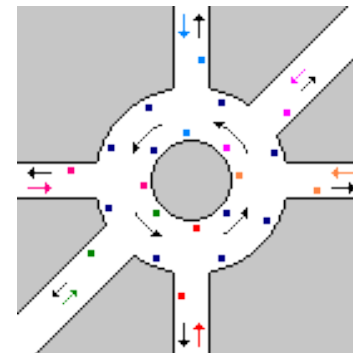
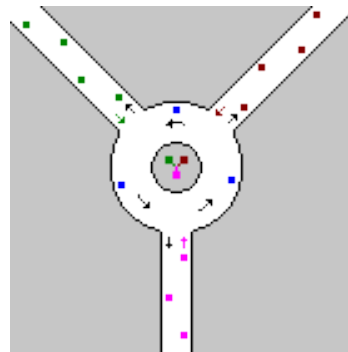


Cruce en T



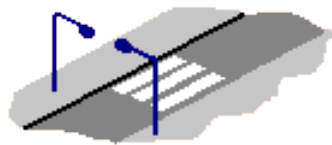
Cruce de 2 vías

- Plazas y glorietas

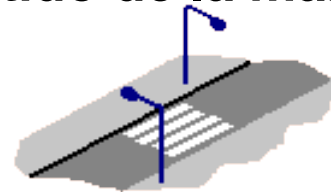


Alumbrado de exteriores (X)

- Disposición de las luminarias en la vía (IV)
 - Pasos de peatones: según sentido de la marcha



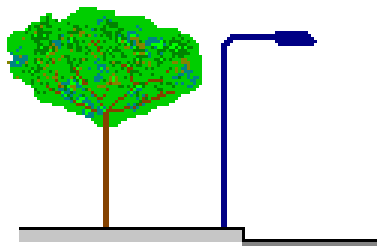
Vía con una calzada
y un único sentido



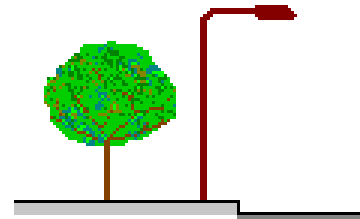
Vía con una calzada
y doble sentido



- Presencia de árboles: $h \cong 12$ m, poda periódica



Iluminación con árboles altos



Iluminación con árboles bajos

Alumbrado de exteriores (XI)

- **Categoría de las vías**
 - Depende de la densidad de tráfico, complejidad del trazado, presencia de señales y semáforos y tipos de usuarios de la vía

TIPO DE VÍA	CATEGORÍA	ZONAS DE CONFLICTO
Vías rápidas con calzadas separadas, sin cruces a nivel de accesos controlados y tráfico rápido. Ej: autopistas y autovías	M1, M2 o M3	C1, C2 o C3
Vías rápidas con dos carriles	M1 o M2	C1 o C2
Vías urbanas importantes. Carreteras radiales y de distribución. Ej: cinturones de circunvalación, carreteras radiales	M2 o M3	C2 o C3
Carreteras de conexión de menor importancia, distribución local	M4 o M5	C4 o C5

Alumbrado de exteriores (XII)

- **Niveles recomendados de iluminación (I)**
 - Según tipo de tráfico, vía y alrededores (CIE 1995)

Categoría	L_m (cd/m ²)	Uniformidad		Deslumbramiento TI	Alrededores SR
		U_0	U_L		
M1	≥ 2.00	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M2	≥ 1.50				
M3	≥ 1.00		≥ 0.5		
M4	≥ 0.75		-	≤ 15	-
M5	≥ 0.50				

Alumbrado de exteriores (XIII)

- **Niveles recomendados de iluminación (II)**
 - Para distancias cortas (< 60 m) (CIE 1995)

Categoría	E_m (lx)	Coeficiente de uniformidad U_0
C0	≥ 50	≥ 0.4
C1	≥ 30	
C2	≥ 20	
C3	≥ 15	
C4	≥ 10	
C5	≥ 7.5	

Alumbrado de exteriores (XIV)

- **Ejemplo: áreas residenciales y peatonales (I)**
 - **Requerimientos de la vía**
 - Ver con anticipación los obstáculos del camino
 - Reconocer el entorno y orientarse por las calles
 - Reconocimiento mutuo de los transeúntes a 4 m (mínimo)
 - Aviso a peatones y vecinos de ladrones y/o intrusos
 - Si existe tráfico rodado \Rightarrow vía pública normal y corriente
 - Control del deslumbramiento
 - Evitar luminarias sin apantallar al nivel de los ojos
 - Evitar que las luces molesten a los vecinos por la noche

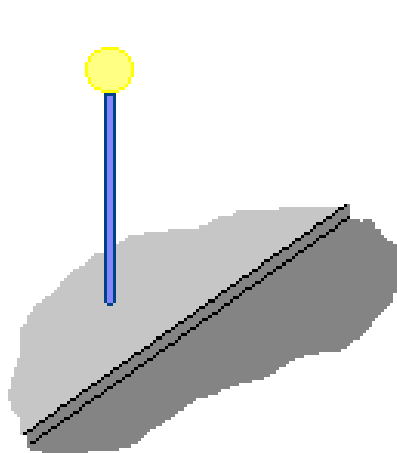
Alumbrado de exteriores (XV)

- Niveles de alumbrado en áreas residenciales y peatonales

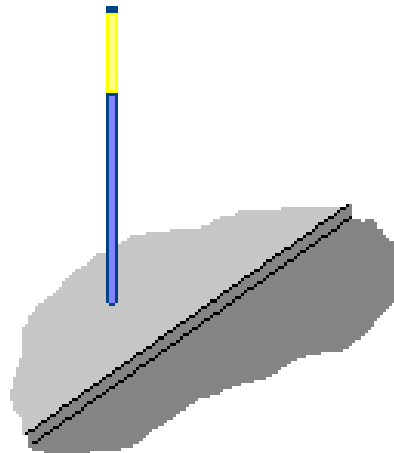
Clasificación según el uso nocturno de los peatones	Categoría	E_m (lx)	E_{min} (lx)
Calles en zonas privilegiadas (áreas comerciales, de ocio)	P1	20	7.5
Calles de uso alto	P2	10	3.0
Calles de uso moderado	P3	7.5	1.5
Calles de uso menor, asociado a propiedades adyacentes	P4	5.0	1.0
Calles de uso menor de ambiente especial (rural, artístico)	P5	3.0	0.6
Calles de uso muy bajo de ambiente especial (rural, artístico)	P6	1.5	0.2
Calles donde sólo es necesario el guiado visual	P7	-	-

Alumbrado de exteriores (XVI)

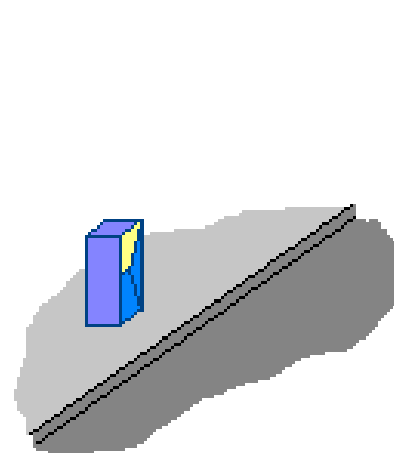
- **Ejemplo: áreas residenciales y peatonales (III)**
 - Lámparas
 - Temperatura de color $\in [1800, 3300]$ K (blanco amarillento)
 - Vapor de Na, Hg o fluorescente (blanco cálido)
 - Luminarias: montaje: $h \in [4, 6]$ m $\Rightarrow F \in [14000, 25000]$ lm



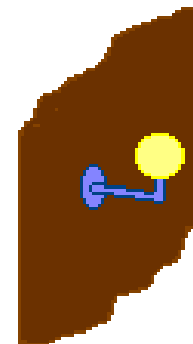
luminaria de poste



luminaria de columna



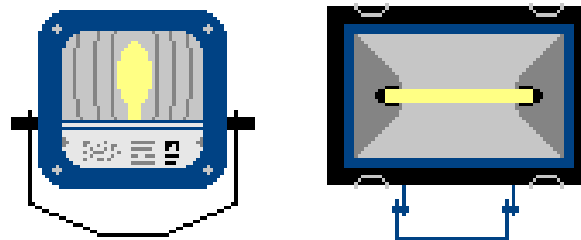
luminaria de nivel de suelo



luminaria de pared

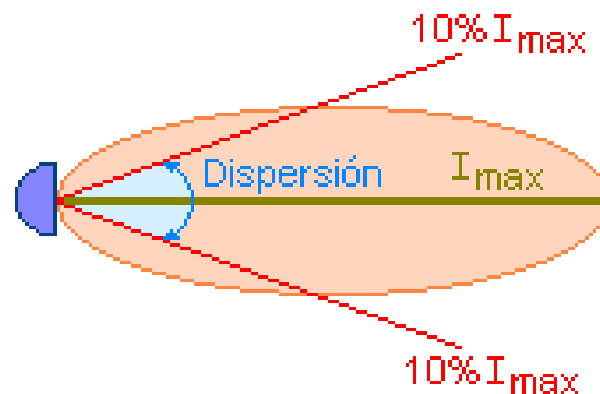
Alumbrado con proyectores (I)

- Definición: concentrador (inundador) de luz



Ejemplos de proyectores

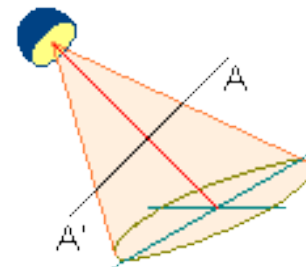
- Clasificación: apertura o dispersión del haz



Dispersión o apertura del haz

Alumbrado con proyectores (II)

- Forma del haz



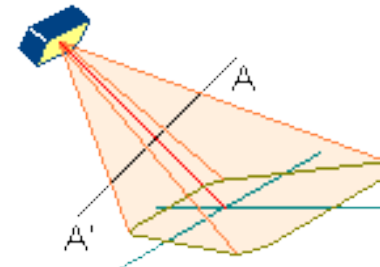
Proyectores cónicos



Haz
simétrico



Haz
asimétrico



Proyectores rectangulares

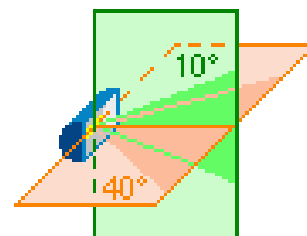


Haz
simétrico

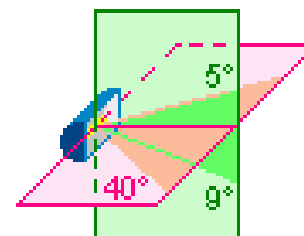


Haz
asimétrico en y

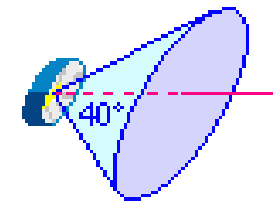
- Denominación:



10°/40°



5°- 9°/40°



40°
Simetría
Rotacional

Alumbrado con proyectores (III)

- **Cálculo de instalaciones con proyectores**
 - **Ámbito de aplicación:**
 - Iluminación de áreas de trabajo o industriales
 - Iluminación de edificios y monumentos
 - Iluminación de instalaciones deportivas
 - Aplicaciones en alumbrado viario
 - **Emplazamiento: depende de la aplicación**
 - A más lejos, haz más estrecho (concentrado)
 - Solapamiento de los borde los haces de los proyectores
 - **Método de los lúmenes:**
$$N = \frac{E_m \cdot S}{\Phi \cdot \eta \cdot f_m}$$